



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
INGENIERÍA DE  
EDIFICACIÓN

# ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA VIVIENDA RURAL DE LA ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA DE CUSCO- PERÚ

(VARIABLES, MODELOS Y ESTÁNDARES AMBIENTALES, APLICADOS AL DISEÑO)

**ETS DE INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**  
**MASTER EN EDIFICACIÓN – ESPECIALIDAD TECNOLOGÍA DE LA EDIFICACIÓN**

Autor : Melissa Katheryn Palma Quispe  
Tutor académico : Dr. Ciencias Físicas. Vicente Gómez Lozano  
Cotutor académico : Dr. Arquitecto. Ignacio Enrique Guillén Guillamón

**Valencia, febrero de 2017**

---

**ENERGY EFFICIENT STRATEGIES FOR RURAL  
HOUSING IN THE MESOANDINA BIOCLIMATIC  
REGION, CUSCO, PERU.**

**(FACTORS, MODELS AND ENVIRONMENTAL STANDARDS APPLIED TO THE DESIGN)**

---

---

ESTRATÈGIES D'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA PER A LA  
VIVENDA RURAL DE LA ZONA BIOCLIMÀTICA  
MESOANDINA DE CUSCO-PERU

(VARIABLES, MODELOS I ESTÀNDARDS AMBIENTALS, APLICATS AL DISSENY)

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco a mis tutores académicos Dr. Vicente Gómez Lozano y Dr. Ignacio Guillén Guillamón, por su paciencia, la orientación, el seguimiento y la supervisión continua del presente trabajo, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de este proceso.

A mis padres Leonarda y Mario, por apoyarme en todo momento y hacer que verdaderamente crea en mí, gracias por su amor y su comprensión. A Danitza, mi hermana por su cariño y gran apoyo. A mis amigos Alejandra, Alejandro, Ana, Felipe, Stephanie y Pablo por haber hecho de esta etapa universitaria un trayecto de vivencias que no olvidaré.

## RESUMEN

El fundamento para iniciar la presente investigación deriva de la necesidad de reducir los efectos de las bajas temperaturas que afectan a la salud del usuario de las viviendas ubicadas en la Zona Bioclimática 4 denominada Mesoandino <sup>1</sup>, en el departamento de Cusco en Perú.

En el contexto actual del país, es evidente la falta de documentación adecuada referente a medidas de control y protección para la construcción de viviendas que posibiliten al usuario de los sectores socio-económicos de menores ingresos que habitan en la zona rural acceder a una vivienda viable, en sintonía con el derecho a la salud y la vida.

En consecuencia, el presente trabajo de investigación está enfocado a realizar un estudio sobre la evolución y la situación actual de la vivienda rural peruana en el marco del estándar Passivhaus, con la finalidad de trazar una serie de estrategias y recomendaciones que representen un aporte en el proceso de conseguir viviendas eficientemente energéticas, de acuerdo al ámbito en el que se desarrollan y las necesidades de sus habitantes.

Uno de los factores más importantes para el desarrollo del presente trabajo son las propuestas de diseño, intervención y construcción de viviendas rurales alto andinas ejecutadas con anterioridad a través de diferentes organismos (Gobierno del Perú y ONG's internacionales) para este fin; puesto que, estas propuestas nos permitirán evaluar el impacto y los avances que se tienen en este tema, lo que sin duda contribuirá a tener un mejor panorama del contexto y conocer las alternativas existentes, para descartar o valorar las estrategias que según los resultados del estudio contribuyan a alcanzar viviendas rurales con alto grado de confort para el usuario y que la demanda de energía requerida sea mínima.

En términos generales, el desarrollo de este trabajo contemplará cuatro etapas: **1).** Estudiar el escenario actual, los modelos, teorías y conceptos pertinentes al problema de investigación, **2).** analizar las condiciones climáticas del medio, las condiciones tecnológicas y constructivas del entorno, las necesidades del usuario y la normativa, **3).** aplicar los nuevos sistemas de gestión, para determinar el desempeño actual y analizar los factores que influyen en el diseño, la calidad de la construcción, las instalaciones y los hábitos de consumo energético y **4).** finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos establecer estrategias y recomendaciones de diseño.

---

<sup>1</sup> (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

## PALABRAS CLAVE

Arquitectura sostenible, zona bioclimática Mesoandina, arquitectura bioclimática, vivienda rural, vivienda rural pasiva, calidad de vida, habitabilidad, sostenibilidad, arquitectura tradicional, Passivhaus, confort térmico, eficiencia energética, vivienda pasiva, energía solar, infiltración de aire, simulación térmica, convección natural.

## ABSTRACT

This investigation is primarily founded on the need to reduce the effects of low temperatures and their impact on the health of residents of housing located in Bioclimatic Zone 4, known as Mesoandino<sup>2</sup>, in the region of Cusco in Peru.

In the current situation of the country, it is evident the lack of adequate documentation concerning control and regulation of housing construction, that make possible to the user of the lower income, who are part of the lower socioeconomic groups and live in rural areas, access to a viable housing, in accordance with basic rights, health and life.

Consequently, this research project aims to deliver a study on the development and current status of Peruvian rural housing in relation to the Passivhaus standards framework, in order to map out a series of strategies and recommendations and offer a step towards to the creation of energy efficient housing, which both suits its surrounding environment and caters to the needs of its inhabitants.

One of the most critical elements in the development of the present work are the design proposals, role and construction of rural housing in the Peruvian Andes, which were previously implemented by different bodies (Government of Peru and international NGOs); these proposals will thus enable us to evaluate the impact and advances made in this area, which will help provide a better overview of the context and understanding of existing alternatives, in order to discount or prioritise the strategies which, according to the results of the study, support the construction of high quality, comfortable rural housing for their users and which have low energy requirements.

In general terms, the development of this work will involve 4 stages: **1)**. An examination of the current situation, models, theories and concepts relating to the problem under investigation, **2)**. An analysis of the regional climatic conditions, technological and construction conditions in the environment, user requirements and regulations, **3)**. The application of new management systems, in order to determine the current performance and analyse the factors influencing the design, construction quality, facilities and energy consumption habits and **4)**. Finally, in line with gathered results, establishment of strategies and design recommendations.

---

<sup>2</sup> (MINISTRY OF HOUSING, CONSTRUCTION AND SANITATION, 2014)

**KEY WORDS:**

Sustainable architecture, Mesoandina bioclimatic region, bioclimatic architecture, rural housing, rural passive housing, life quality, habitability, sustainability, traditional architecture, passive house, thermal comfort, energy efficiency, air infiltration, thermal simulation, natural convection.

## ACRÓNIMOS

<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>MVCS</b>	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú
<b>PNVR</b>	Programa Nacional de Vivienda Rural
<b>VRP</b>	Vivienda Rural Peruana
<b>PHI</b>	Passive House Institute
<b>SENAMHI</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>OMM</b>	Organización Meteorológica Mundial
<b>WMO</b>	World Meteorological Organization
<b>GIZ</b>	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
<b>UNI</b>	Universidad Nacional de Ingeniería
<b>CER-UNI</b>	Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	18
<b>1 GENERALIDADES .....</b>	<b>20</b>
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>20</b>
1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	22
<b>1.2 HIPÓTESIS.....</b>	<b>23</b>
<b>1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>23</b>
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
<b>1.4 JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>24</b>
<b>1.5 METODOLOGÍA .....</b>	<b>25</b>
<b>2 CAPÍTULO I.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1 ESTÁNDAR PASSIVHAUS.....</b>	<b>28</b>
2.1.1 ORIGEN.....	28
2.1.2 CARACTERÍSTICAS Y CRITERIOS.....	28
2.1.3 PARÁMETROS OBLIGATORIOS DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS.....	30
<b>2.2 VIVIENDA RURAL PERUANA (VRP).....</b>	<b>30</b>
2.2.1 ANTECEDENTES.....	30
2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VRP .....	35
2.2.3 TIPOLOGÍA DE LA VRP .....	37
<b>2.3 PRINCIPIOS PASSIVHAUS APLICADOS A LA VIVIENDA RURAL .....</b>	<b>41</b>
<b>3 CAPÍTULO II .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1 UBICACIÓN .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2 CLIMATOLOGÍA Y DATOS CLIMÁTICOS .....</b>	<b>46</b>
3.2.1 DATOS CLIMÁTICOS .....	46

3.2.2	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA.....	47
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>55</b>
<b>4.1</b>	<b>NORMATIVA PERUANA (EM. 110 CONFORT TÉRMICO Y LUMÍNICO CON EFICIENCIA ENERGÉTICA) .....</b>	<b>55</b>
4.1.1	Software BIOSOL .....	55
4.1.2	CRITERIOS PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA EN ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA .....	56
<b>4.2</b>	<b>REFERENTES CONSTRUCTIVOS Y ARQUITECTÓNICOS EN PERÚ .....</b>	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>69</b>
<b>5.1</b>	<b>DATOS DE PARTIDA PARA CÁLCULO DE DEMANDA ENERGÉTICA .....</b>	<b>70</b>
<b>5.2</b>	<b>CASO INICIAL - DEFINICIÓN DE SITUACIÓN DE PARTIDA .....</b>	<b>72</b>
5.2.1	CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS ORIGINALES DE VIVIENDA RURAL .....	72
5.2.2	OCUPACIÓN .....	77
5.2.3	HORARIOS DE FUNCIONAMIENTO .....	77
5.2.4	CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS PARA CALEFACCIÓN (INVIERNO).....	79
5.2.5	ZONAS TÉRMICAS.....	83
<b>5.3</b>	<b>RESULTADO INICIAL - DEMANDA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA EN SU ESTADO ORIGINAL .....</b>	<b>84</b>
5.3.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	86
<b>6</b>	<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>88</b>
<b>6.1</b>	<b>OPTIMIZACIÓN PREVIA DEMANDA DE CALEFACCIÓN.....</b>	<b>89</b>
6.1.1	CASO 1 – MEJORA DE LAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS CERRAMIENTOS .....	89
6.1.2	CASO 2 - ESPESOR DE AISLAMIENTO .....	94
6.1.3	CASO 3 – MEJORA ACRISTALAMIENTO DEL EDIFICIO .....	97
6.1.4	CASO 4 – INCORPORACIÓN DE AISLAMIENTO EN PUERTAS .....	100
<b>6.2</b>	<b>ANÁLISIS MEJORAS ADICIONALES: OBJETIVO CONSUMO 0. ....</b>	<b>102</b>
6.2.1	CASO 5 – INVERNADERO ADOSADO .....	102
<b>6.3</b>	<b>ÓPTIMO FINAL. ....</b>	<b>106</b>
6.3.1	CONCLUSIONES OBTENIDAS DE LA SIMULACIÓN. ....	106
6.3.2	RESULTADOS DE MEJORAS .....	106

7	CAPÍTULO VI.....	110
	CONCLUSIONES .....	114
	BIBLIOGRAFÍA .....	117
	ANEXOS .....	119
	<b>ANEXOS 1 - PLANOS .....</b>	<b>120</b>
	<b>ANEXOS 2 - COEFICIENTES DE TRASMISIÓN .....</b>	<b>127</b>
	<b>ANEXOS 3 – RESULTADOS DE SIMULACIÓN .....</b>	<b>130</b>
	<b>ANEXOS 4 - PRESUPUESTO GENERAL .....</b>	<b>134</b>
	<b>ANEXOS 5 - CARTOGRAFÍA .....</b>	<b>139</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE VIVIENDA RURAL .....	36
Tabla 2-2. TIPOLOGÍA DE VIVIENDA RURAL.....	37
Tabla 3-1. UBICACIÓN DE ZONA BIOCLIMÁTICA POR PROVINCIA .....	44
Tabla 3-2. ZONIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA DEL PERÚ .....	46
Tabla 3-3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LAS ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA .....	48
Tabla 4-1. VALORES LÍMITES MÁXIMOS DE TRANSMITANCIA TÉRMICA (U) EN W/M <sup>2</sup> K .....	56
Tabla 4-2. CLASES DE CARPINTERÍAS DE VENTANAS .....	57
Tabla 4-3. RANGO DE LA CLASE 2 DE PERMEABILIDAD AL AIRE .....	58
Tabla 5-1. CONDICIONES DE CONFORT .....	70
Tabla 5-2. DESCRIPCIÓN DE CARPINTERÍA ORIGINAL .....	76
Tabla 5-3. TABLA RESUMEN DE COEFICIENTES DE TRASMISIÓN DE CALOR DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA VIVIENDA RURAL .....	76
Tabla 5-4. DENSIDADES DE OCUPACIÓN EN LA VIVIENDA RURAL.....	77
Tabla 5-5. PORCENTAJE DE USO DE LOCALES DE LUNES A VIERNES .....	77
Tabla 5-6. PORCENTAJE DE USO DE LOCALES SÁBADO Y DOMINGO .....	78
Tabla 5-7. COEFICIENTE DE FACTOR SOLAR DE LOS VIDRIOS UTILIZADOS EN LA VIVIENDA .....	80
Tabla 5-8. RESULTADO INICIAL - DEMANDA DE ENERGÍA CON CARACTERÍSTICAS ORIGINALES DE LA VRP .....	84
Tabla 5-9. GANANCIAS PASIVAS PROMEDIO ANUAL DE LA VRP CON CARACTERÍSTICAS ORIGINALES.....	84
Tabla 6-1. TABLA RESUMEN DE COEFICIENTES DE TRASMISIÓN DE CALOR DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA VIVIENDA RURAL .....	90
Tabla 6-2. RESULTADO 01 - DEMANDA ENERGÉTICA DE LA VRP CON MATERIALES MEJORADOS .....	91
Tabla 6-3. GANANCIAS PASIVAS PROMEDIO ANUAL CON CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS MEJORADAS .....	91
Tabla 6-4. RESULTADO 02 - DEMANDA ENERGÉTICA CON PRUEBAS CRUZADAS DE ESPESOR DE AISLAMIENTO. ....	95
Tabla 6-5. RESULTADO 03 - DEMANDA ENERGÉTICA DE PRUEBAS CRUZADAS DE ESPESOR DE AISLAMIENTO CON VIDRIO DOBLE Y TRIPLE BAJO EMISIVO, CON CÁMARA DE AIRE.....	98
Tabla 6-6.- RESULTADO 04 - DEMANDA ENERGÉTICA CON CONDICIONES MEJORADAS DE PUERTA.....	101
Tabla 6-7.- RESULTADO 05 - DEMANDA ENERGÉTICA CON CONDICIONES MEJORADAS E INCORPORACIÓN DE INVERNADERO.....	103
Tabla 6-8. DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA TEMPERATURA, ZONA DÍA.....	105
Tabla 6-9. DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA TEMPERATURA, ZONA NOCHE .....	105
Tabla 6-10. DEMANDAS ÓPTIMO .....	105

---

Tabla 7-1. COMPARACIÓN DE DEMANDAS - RESULTADOS FINALES .....	110
Tabla 7-2. DEMANDAS - CASOS BASES - RESULTADOS FINALES.....	112
Tabla 7-3. DEMANDAS – CASO AISLAMIENTO DE ENVOLVENTE - RESULTADOS FINALES.....	112
Tabla 7-4. DEMANDAS – CASO VIDRIO BAJO EMISIVO - RESULTADOS FINALES. ....	112
Tabla 7-5. DEMANDAS – CASO AISLAMIENTO PUERTAS - RESULTADOS FINALES.....	112
Tabla 7-6. DEMANDAS – CASO INVERNADERO ADOSADO - RESULTADOS FINALES.....	113

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1. HELADAS REGISTRADAS EN ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA DE PERÚ .....	20
Gráfico 1-2. VIVIENDA RURAL EN RIVERA COYLATA, PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA RURAL .....	21
Gráfico 1-3. INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA (IRA) EN PERÚ .....	24
Gráfico 2-1. VIVIENDAS PAREADAS EN DARMSTADT, ALEMANIA, 1990. ....	28
Gráfico 2-2. RESUMEN DEL MARCO HISTÓRICO DE LA EVOLUCIÓN DE LA VIVIENDA RURAL PERUANA ...	31
Gráfico 2-3. REPRESENTACIÓN DE LA CUEVA DE PIQUIMACHAY, AYACUCHO – PERÚ .....	32
Gráfico 2-4. TIPOLOGÍA DE VIVIENDA CARAL, LIMA - PERÚ .....	32
Gráfico 2-5. TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA DE LA CULTURA TIAHUANACO .....	32
Gráfico 2-6. MAPA DEL TAHUANTINSUYO .....	33
Gráfico 2-7. DIBUJO ILUSTRATIVO DE LA KANCHA INCA TRADICIONAL .....	33
Gráfico 2-8 VIVIENDA INCA .....	33
Gráfico 2-9. VIVIENDA RURAL PERUANA UBICADA EN SIBAYO, AREQUIPA- PERÚ .....	34
Gráfico 2-10. COMUNIDAD CAMPESINA DE SIBAYO, AREQUIPA- PERÚ .....	34
Gráfico 2-11. COMPONENTES DE LA VIVIENDA RURAL .....	35
Gráfico 2-12. TIPOLOGÍA AUTÓCTONA (T1) .....	38
Gráfico 2-13. TIPOLOGÍA TRADICIONAL (T2) .....	39
Gráfico 2-14. TIPOLOGÍA TRADICIONAL EN TRANSICIÓN CONTEMPORÁNEA (T3) .....	40
Gráfico 2-15. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO PASSIVHAUS APLICADOS A LA VRP .....	41
Gráfico 3-1. MAPA POLÍTICO DEL PERÚ .....	44
Gráfico 3-2. MAPA POLÍTICO DE CUSCO .....	45
Gráfico 3-3. AGRICULTORES DE LOS VALLES MESOANDINOS CUSCO .....	45
Gráfico 3-4. CIRCUITO DE LAS CUATRO LAGUNAS, POMACANCHI, ACOMAYO .....	45
Gráfico 3-5. MAPA DE LOS VALLES MESOANDINOS, SUPERFICIE APROX. 14,6 % DE CUSCO DEPARTAMENTO .....	45
Gráfico 3-6. RESUMEN DE DATOS HISTÓRICOS .....	48
Gráfico 3-7. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA .....	49
Gráfico 3-8. RANGO DE TEMPERATURAS .....	50
Gráfico 3-9. ROSA DE LOS VIENTOS .....	50
Gráfico 3-10. RANGO DE VELOCIDAD DEL VIENTO .....	51
Gráfico 3-11. HUMEDAD RELATIVA ANUAL .....	51
Gráfico 3-12. DATOS ANUALES RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL .....	52
Gráfico 3-13. TEMPERATURA DEL TERRENO .....	52
Gráfico 3-14. ORIENTACIÓN IDEAL PARA LA ZONA MESOANDINA .....	53
Gráfico 4-1. CLASIFICACIÓN DE VENTANAS POR SU PERMEABILIDAD AL AIRE .....	57

Gráfico 4-2. PROYECTO DE CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS MODIFICADAS.....	60
Gráfico 4-3. PROYECTO DE CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS CONSTRUIDAS POR CARE PERÚ .....	62
Gráfico 4-4. PERSPECTIVA DE VIVIENDA CON MURO TROMBE.....	65
Gráfico 4-5. PERSPECTIVA DE INVERNADERO ADOSADO O - E .....	66
Gráfico 5-1. MODELO DE VIVIENDA RURAL ECOTECT 2010 DE AUTODESK. ....	69
Gráfico 5-2. EL DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE GIVONI PARA LA ZONA MESOANDINA.....	71
Gráfico 5-3. EL DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE GIVONI PARA LA ZONA MESOANDINA EN VERANO.....	71
Gráfico 5-4. EL DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE GIVONI PARA LA ZONA MESOANDINA EN INVIERNO .....	72
Gráfico 5-5. PLANO DE MÓDULO BÁSICO PROPUESTO PARA LA SIMULACIÓN DE DATOS EN UNA VIVIENDA RURAL .....	73
Gráfico 5-6. ZONIFICACIÓN DE MÓDULO BÁSICO DE VIVIENDA RURAL .....	74
Gráfico 5-7. CARACTERÍSTICA ORIGINAL DE MUROS .....	74
Gráfico 5-8. CARACTERÍSTICA ORIGINAL DE SUELO .....	75
Gráfico 5-9. CARACTERÍSTICA ORIGINAL DE TEJADO .....	75
Gráfico 5-10. CARACTERÍSTICA ORIGINAL DE CARPINTERÍA .....	76
Gráfico 5-11. PORCENTAJE DE USO DE LA ZONA DE DÍA EN UNA SEMANA ESTÁNDAR .....	78
Gráfico 5-12. PORCENTAJE DE USO DE LA ZONA DE NOCHE EN UNA SEMANA ESTÁNDAR .....	78
Gráfico 5-13. PORCENTAJE DE USO DE LA ZONA DE DÍA EN UN FIN DE SEMANA.....	79
Gráfico 5-14. PORCENTAJE DE USO DE LA ZONA DE NOCHE EN UN FIN DE SEMANA .....	79
Gráfico 5-15. CONDICIONES GENERALES PARA CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS PARA LA ZONA DÍA .....	82
Gráfico 5-16. CONDICIONES GENERALES PARA CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS PARA LA ZONA NOCHE	82
Gráfico 5-17. PROPIEDADES DE CONFORT TÉRMICO PARA LA ZONA DÍA.....	83
Gráfico 5-18. PROPIEDADES DE CONFORT TÉRMICO PARA LA ZONA NOCHE.....	83
Gráfico 5-19. DEMANDA DE CALEFACCIÓN INICIAL, SIN MEJORAS.....	85
Gráfico 5-20. GANANCIAS PASIVAS INICIALES.....	85
Gráfico 6-1. CARACTERÍSTICA MEJORADA DEL SUELO .....	89
Gráfico 6-2. CARACTERÍSTICA MEJORADA DEL TEJADO .....	90
Gráfico 6-3. DEMANDA DE CALEFACCIÓN TOTAL CON MEJORA DE MATERIALES. ....	92
Gráfico 6-4. DESGLOSE DE GANANCIAS PASIVAS CON MEJORAS EN LOS CERRAMIENTOS .....	92
Gráfico 6-5. DESGLOSE DE GANANCIAS PASIVAS CON MEJORAS EN LOS CERRAMIENTOS, ZONA DÍA.....	93
Gráfico 6-6. DESGLOSE DE GANANCIAS PASIVAS CON MEJORAS EN LOS CERRAMIENTOS, ZONA NOCHE .....	93
Gráfico 6-7. DEMANDA ENERGÉTICA RESPECTO A INCREMENTO ESPESOR DE AISLAMIENTO.....	95
Gráfico 6-8. DEMANDA DE CALEFACCIÓN, CON 20 CM. DE AISLAMIENTO EN CERRAMIENTOS.....	96
Gráfico 6-9. DESGLOSE DE GANANCIAS PASIVAS CON AISLAMIENTO DE 20 CM. ....	96
Gráfico 6-10. DEMANDA ENERGÉTICA CON VIDRIO DOBLE BAJO EMISIVO, RESPECTO A INCREMENTO ESPESOR DE AISLAMIENTO.....	99

Gráfico 6-11. DEMANDA ENERGÉTICA CON VIDRIO TRIPLE BAJO EMISIVO, RESPECTO A INCREMENTO ESPESOR DE AISLAMIENTO.....	99
Gráfico 6-12. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE SIMULACIONES DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN CON MEJORAS. ....	100
Gráfico 6-13. DETALLE DE PUERTA CON AISLAMIENTO .....	101
Gráfico 6-14. CONDICIONES GENERALES PARA CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS PARA EL INVERNADERO .....	102
Gráfico 6-15. PROPIEDADES DE CONFORT TÉRMICO PARA EL INVERNADERO .....	103
Gráfico 6-16. DEMANDA DE CALEFACCIÓN CON 10 CM. DE AISLAMIENTO EN CERRAMIENTOS E INVERNADERO ADOSADO .....	104
Gráfico 6-17. DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA TEMPERATURA.....	104
Gráfico 6-18. DEMANDA DE CALEFACCIÓN, RESULTADOS 1,2,3,4 Y 5. ....	107

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la vivienda constituye una necesidad social básica<sup>3</sup>, esto se traduce en que el hombre necesita un lugar donde realizar actividades como comer, descansar, dormir, protegerse del frío y del calor.

En el Perú, a pesar de que no está reconocido constitucionalmente el derecho a una vivienda digna de manera expresa, sí está reconocido de manera implícita, a través de distintas normas que prevén políticas públicas que fomentan el ejercicio del mismo.

En este aspecto, el derecho a una vivienda digna no está determinado como un derecho fundamental, más sí como un derecho progresivo, esto significa que, el estado tiene como objetivo promover el mismo, asignando funciones a los gobiernos locales.

De acuerdo con lo señalado, es indiscutible que existe políticas públicas establecidas para este fin; sin embargo, el concepto de vivienda rural peruana y el bienestar del usuario se ha venido traduciendo únicamente en contar con un techo que permita supervivencia.

Al mismo tiempo y en el contexto mundial del impacto del calentamiento global, hoy en día existe un amplio consenso sobre el rol que cumple la arquitectura para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En ese orden de ideas, surge la inquietud de establecer estrategias de eficiencia energética para la vivienda rural peruana con elementos determinantes como el consumo de energía, el aislamiento térmico, el impacto ambiental y la sostenibilidad. *“Se trata de desarrollar una nueva cultura que se base no sólo en la habilidad técnica del hombre, sino también en su sabiduría; no sólo en la capacidad de modificar la naturaleza, sino también en la de comprenderla; una cultura en la que el hombre no sólo sea capaz de dar nuevas calidades a lo artificial, sino también de garantizar la continuidad del frágil sustrato natural en el que se basa todo lo existente y también su propia esperanza de vida”*<sup>4</sup>.

Por todo ello, desde nuestra postura como arquitectos, nuestro deber es integrar y generar equilibrio entre la arquitectura, el medio ambiente, las energías que pueden obtenerse de él (radiación, clima, viento, temperatura, humedad, etc.) y las características físicas del entorno en el que se emplaza el proyecto arquitectónico.

---

<sup>3</sup> (OFICINA DEL ALTO COMISIONADO DE LAS NACIONES UNIDAS, 1991)

<sup>4</sup> (MANZINI, 1992)

# GENERALIDADES

---

# GENERALIDADES

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



**Gráfico 1-1.** HELADAS REGISTRADAS EN ZONA  
BIOCLIMÁTICA MESOANDINA DE PERÚ  
(Foto: Archivo Perú21/ agosto, 2013)

En los meses comprendidos de abril a septiembre, diversas regiones del país son afectadas por un período de bajas temperaturas que alcanzan niveles por debajo de los 0°C. Lo lamentable de esta situación es que a pesar de que las heladas se presentan todos los años, las consecuencias son las mismas: personas con afecciones respiratorias, viviendas inhabitables y otros problemas que corresponden a campos multidisciplinarios.

Las principales razones de que estas secuelas se repitan, se encuentran en la deficiente implementación de políticas de infraestructura y salud en todos los niveles del gobierno, un problema que perdura hasta la actualidad. A continuación, se transcribe un testimonio publicado en el Diario El Comercio el año 2015, en el que se evidencia la problemática actual.

*“María tiene 48 años y vive en la provincia del Collao, en Puno, con sus tres hijos y su esposo. Su casa está aproximadamente a 4.000 metros sobre el nivel del mar. A las 5 a.m. la temperatura baja a -20 °C. Su vivienda es pequeña: solo tiene una habitación. Los muros son de adobe y el techo de ichu (paja). No hay ventanas y solo tiene una puerta de un metro de altura. Para proteger a los animales del frío, es común que la familia termine durmiendo con uno o dos carneros.*

*Como todavía no llega la electricidad, cuando cocinan, el humo de la leña lo respiran todos, lo que les daña las vías respiratorias...”<sup>5</sup>.*

Al respecto, desde el año 2014, la Presidencia del Consejo de Ministros de Perú a través de la Secretaría de Gestión del Riesgo de Desastres, anualmente, establece el Plan Multisectorial ante

<sup>5</sup> (DALY, 2015)

las Heladas y Friaje, con el objetivo de articular esfuerzos multisectoriales para la prevención y reducción del riesgo ante la temporada de heladas y friaje.

Uno de los ejes de acción principal, es el de proporcionar un ambiente seguro y saludable para las familias, de tal modo que se pueda proteger la salud de sus habitantes, especialmente de los niños y los adultos mayores. En este contexto, El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Perú (MVCS), a través del Programa Nacional de Vivienda Rural (PNVR) busca mejorar las viviendas en cuanto a su confort térmico y habitabilidad, en los centros poblados priorizados.

Para el presente año 2016, el PNVR tiene programado beneficiar a 1,529 familias que están distribuidas en 5 departamentos (Amazonas, Arequipa, Cusco, Puno y Ucayali), que abarca a 09 provincias, 10 distritos y 65 localidades, considerando un presupuesto total de **S/. 31'575,020.00 soles** <sup>6</sup> equivalente a € 8'473,259.15 aproximadamente



**Gráfico 1-2.** VIVIENDA RURAL EN RIVERA COYLATA,  
PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA RURAL  
(Foto: Archivo El País/ julio, 2014)

Como resultado de estas acciones, actualmente existe un número importante de viviendas con estrategias de diseño pasivo (**Gráfico 1-2**), algunas culminadas y otras en proceso de construcción. Con la incorporación de sistemas se busca mejorar el desempeño térmico, lumínico y la calidad del aire interior de las viviendas. En la actualidad, no existe información que permita conocer con exactitud el aporte conseguido con las propuestas ejecutadas.

Este tipo de proyectos representan inversión por parte el estado peruano, en ese sentido, evaluar la eficiencia y rentabilidad de estos resulta fundamental como aporte para la elaboración del presente trabajo.

No obstante, en los últimos años, la sociedad ha ido tomando conciencia sobre la necesidad de preservar el medio ambiente, en esta medida, la alternativa es optar por la arquitectura sostenible que permite hacer uso racional de la energía. Al respecto, en países europeos, EEUU, Japón y otros no de menor importancia, contamos con proyectos desarrollados con el estándar

<sup>6</sup> (PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS DEL PERÚ, 2016)

Passivhaus, que han surgido como propuestas innovadoras, que han logrado una incidencia social, económica, medioambiental y cultural, para la población y la ciudad.

Ante este panorama, los resultados de esta propuesta de investigación, serán consecuencia de recursos y experiencias que contribuyan a la reducción de los efectos negativos de las bajas temperaturas en las personas que viven en zonas rurales de la **Zona Bioclimática Mesoandina**<sup>7</sup>. Básicamente, las condiciones de situación actual, los sistemas de gestión de eficiencia energética y los referentes arquitectónicos, deben de permitir establecer nuevos parámetros y estrategias para conseguir mayor grado de confort para los habitantes de la vivienda rural, con una concepción constructiva que permita una reducción significativa de la energía consumida y costes.

### 1.1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Como consecuencia de la carencia de documentación verídica referente a medidas de control y protección para el diseño y construcción de viviendas rurales viables, es preciso concretar aspectos fundamentales en esta investigación, con el fin de optimizar recursos y medios disponibles que permitan manejar apropiadamente el tema de estudio.

En ese entender, el primer argumento relevante es saber ¿Cuál es la demanda energética real de la vivienda rural ubicada en la zona bioclimática Mesoandina?

El segundo argumento relevante es conocer ¿Cuáles son los problemas técnicos que imposibilitan alcanzar niveles de confort adecuados, en las viviendas rurales?; por otra parte, surge las siguientes interrogantes ¿Cuáles son los resultados de eficiencia energética conseguidos en las viviendas rurales subvencionadas por el estado peruano?, ¿Cuáles son las mejoras y/o aportes? y ¿Cuáles son sus deficiencias?

Por último, el tercer asunto relevante es conocer, ¿Qué estrategias de eficiencia energética son viables para la vivienda rural ubicada en la zona bioclimática Mesoandina con base en los nuevos sistemas de gestión de eficiencia energética y el estándar Passivhaus?

*[NOTA: La equivalencia en la clasificación Köppen que corresponde a la Zona Bioclimática Mesoandina es Dwb - Hemiboreal con invierno seco (verano suave, invierno frío)].*

---

<sup>7</sup> (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

## 1.2 HIPÓTESIS

Con la investigación, se busca desarrollar una metodología apropiada que sirva como base para esbozar propuestas de viviendas rurales eficientemente energéticas. En ese entender, la hipótesis a manejar en la presente, es demostrar que el confort térmico y la calidad de aire de las viviendas rurales ubicadas en la zona bioclimática Mesoandina del departamento de Cusco, depende en gran medida de la relación entre los recursos disponibles verídicos (archivos meteorológicos, bibliografía y normatividad) y la utilización de nuevas herramientas de eficiencia energética.

## 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.3.1 OBJETIVO GENERAL

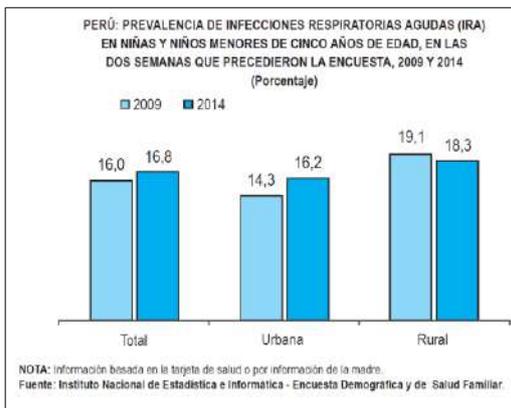
Con la finalidad de alcanzar viviendas con estándares de calidad ambiental de acuerdo al ámbito en el que se desarrollan, recursos y las necesidades del usuario. En el marco de los nuevos sistemas de gestión de eficiencia energética y el estándar Passivhaus, el objetivo del presente trabajo de investigación es validar una metodología que permita determinar la situación actual de la vivienda rural ubicada en la zona bioclimática Mesoandina en el departamento de Cusco en Perú y establecer estrategias de eficiencia energética para la aplicación en su diseño.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- + Elaborar un análisis teórico de los conceptos relacionados con la propuesta de investigación.
- + Identificar y definir el espacio físico – urbano y socio – cultural, con la intención de plantear estrategias coherentes de acuerdo al medio en el que se ubican y pertinentes para satisfacer las necesidades del usuario.
- + En uso de las nuevas herramientas de sistemas de gestión de eficiencia energética: determinar el desempeño actual y los factores que influyen en el consumo energético de la vivienda rural.
- + Establecer parámetros y estrategias dirigidas a la mejora de la eficiencia de la vivienda rural de la zona bioclimática Mesoandina.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

El fundamento para iniciar la presente investigación deriva de la necesidad de reducir los efectos de las bajas temperaturas que afectan a la salud del usuario de la vivienda rural, en consecuencia, el resultado que se persigue, es mejorar la calidad de condiciones de habitabilidad, ambientales y de eficiencia de las viviendas rurales ubicadas entre 3000 – 4000 msnm. en Perú.



**Gráfico 1-3.** INFECCIÓN RESPIRATORIA AGUDA (IRA) EN PERÚ

(Fuente: INEI – Encuesta Demográfica y de Salud Familiar)

La problemática desarrollada se refleja en las estadísticas de salud. Las infecciones respiratorias representan una de las causas de mayor incidencia en poblaciones de las zonas rurales de Perú (**Gráfico 1-3.** ).

Por lo anterior, podemos afirmar que la vulnerabilidad de la población rural ante las heladas, está directamente relacionada con las condiciones de vida y el acceso a una vivienda segura y saludable.

Otra situación que hace incidencia en la problemática, es la falta de recursos y documentación académica, que permitan mostrar un panorama real de la situación actual. La falta de investigaciones en este ámbito y la utilización de datos imprecisos, limitan el desarrollo óptimo de las propuestas realizadas hasta hoy en día.

Para el desarrollo de este trabajo nos enfocaremos en la zona bioclimática Mesoandina en Cusco, Perú, a pesar de que, la zona con mayores problemas por efecto climáticos es la zona bioclimática Alto Andina<sup>8</sup>. La razón se fundamenta en que, en la actualidad las herramientas utilizadas para calcular la cantidad de demanda energética, proponer mejoras y entre otras, se manejan con estándares normalizados a nivel mundial; sin embargo, en los archivos meteorológicos habidos, solo encontramos información de tres (03) departamentos de los veinticuatro (24) que existen en Perú, estos son: Lima, Arequipa y Cusco; este último según la **Norma EM. 110** pertenece a la zona bioclimática denominada Mesoandina.

<sup>8</sup> (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014).

Mediante la presente investigación, en la zona bioclimática denominada Mesoandina de Cusco - Perú, se intenta incorporar una metodología direccionada hacia las mejoras en la calidad de las viviendas rurales y la sostenibilidad como política pública, propiciando estímulos que ayuden a volver hábito las buenas prácticas de arquitectura y construcción; por lo tanto, que permitan contribuir al desarrollo equitativo y sostenible del país.

*[NOTA: La equivalencia en la clasificación Köppen que corresponde a la zona bioclimática Alto Andina es ETH - zona de clima seco y frío de tundra (T° de 10°C en el mes más cálido)].*

## 1.5 METODOLOGÍA

La elaboración de este trabajo de investigación involucra el desarrollo de cinco fases, las que se describen a continuación.

Etapa teórico - conceptual:

Esta primera fase, consiste en la recopilación bibliográfica, hemerográfica y consulta de archivo referente a la vivienda rural peruana, arquitectura sostenible, estrategias bioclimáticas, sistemas de gestión de eficiencia energética y estándar Passivhaus.

Utilizando como técnica la retroalimentación, se intenta realizar la comprobación continua de información y avances, en caso de ser necesario, se utilizará cuadros de síntesis que nos conduzcan a sistematizar la información.

Estudio e interrelación de los factores condicionantes y determinantes:

En esta etapa, se realizará el reconocimiento y evaluación de las condicionantes y determinantes. Los factores condicionantes están constituidos por el lugar, los aspectos técnicos, financieros, normativos, referentes tipológicos y entre otros que sean necesarios durante el desarrollo del presente. Y el factor determinante hace alusión a la satisfacción integral de los distintos agentes humanos, en este caso el usuario de la vivienda, fin último de la arquitectura.

Simulación y procesamiento de variables, en uso de herramientas de evaluación energética:

Se elegirá algunas viviendas rurales de acuerdo a las tipologías más habituales o características específicas, con las cuales se realizará una evaluación cualitativa y cuantitativa, en base a los

factores condicionantes y determinantes, para conocer su comportamiento energético. Con estos estudios estaremos en la capacidad de desarrollar la etapa de síntesis teórica.

Planteamiento de intenciones proyectuales, en aplicación del estándar Passivhaus.

En esta etapa, a partir de la experiencia reunida en las fases anteriores, se reforzará o reformulará características del comportamiento energético de la vivienda rural, en aplicación del estándar Passivhaus. Esto significa que se formularán intenciones sobre posibles estrategias bioclimáticas para el diseño e intervención de las viviendas en estudio.

Interpretación de datos

Etapa donde se analizará los contenidos desarrollados en todo el proceso, se elaboran recomendaciones, observaciones y conclusiones sobre el tema estudiado.

# CAPÍTULO I

---

## MARCO TEÓRICO

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 2.1 ESTÁNDAR PASSIVHAUS

Passivhaus es un estándar de eficiencia energética que asegura gran calidad de aire y confort térmico interior, atiende a los principios de buena orientación y racionalidad en los planteamientos de todo tipo de arquitectura.

#### 2.1.1 ORIGEN

Según el Passive House Institute (PHI), el estándar Passivhaus se formuló oficialmente en 1988 por los profesores Bo Adamsom de la Universidad sueca de Lund, y Wolfgang Feist, del Instituto Alemán de Edificación y Medio Ambiente. En 1990 se realizó el primer proyecto en estándar Passivhaus (**Gráfico 2-1**).



**Gráfico 2-1.** VIVIENDAS PAREADAS EN DARMSTADT, ALEMANIA, 1990.

(Fuente: <http://lararquitectura.com/blog/category/casas-pasivas/>)

El PHI fue fundado en el año 1996 por el Dr. Feist, 5 años después de la construcción de las primeras casas, hoy en día lidera la investigación, aplicación, formación y certificación de las construcciones pasivas a nivel mundial.

#### 2.1.2 CARACTERÍSTICAS Y CRITERIOS

En los edificios pasivos se cuida la orientación, la envolvente del edificio y la colocación de superficies vidriadas y aperturas en fachadas con el fin de obtener un aprovechamiento máximo del sol para calefactar sus espacios acondicionados y una ventilación cruzada óptima para refrigerarlos, consiguiendo una demanda de climatización baja y preservando la calidad del aire interior sin menoscabo del confort térmico o el grado de bienestar en el interior de la edificación.

En la **GUÍA DE ESTÁNDAR PASSIVHAUS**, Madrid 2011, en su apartado **2.2.3** se proponen 7 principios básicos que rigen este estándar:

- **Aislamiento térmico:** Una óptima envolvente térmica inicia con un buen aislamiento que permita reducir las pérdidas de calor en invierno, las ganancias de calor en verano

y la demanda de energía para climatizar los edificios. El optimizar el aislamiento térmico del edificio es una medida muy beneficiosa tanto para requerimientos de refrigeración como de calefacción.

En este tipo de edificaciones se llegan a colocar espesores de aislamiento que duplican o incluso triplican los utilizados tradicionalmente.

- **Eliminación de los puentes térmicos:** *“Los puentes térmicos son aquellos puntos en los que la envolvente del edificio se debilita debido a un cambio de su composición o al encuentro de distintos planos o elementos constructivos”.*

Se deberá hacer un correcto planteamiento de la envolvente del edificio para eliminarlos ya que suponen pérdidas de energía.

Por ejemplo: puentes térmicos típicos son el encuentro de la fachada con el frente de forjado o las carpinterías.

- **Control de las infiltraciones/estanqueidad:** Se trata de infiltraciones de aire indeseadas en el edificio que provocan pérdidas de energía. Preservar la hermeticidad de los edificios será punto fundamental de este estándar.

Para asegurar la estanqueidad deberá llevarse especial cuidado en la ejecución de los encuentros de diferentes planos o elementos constructivos, así como una selección de carpinterías que preserven la hermeticidad requerida.

- **Ventilación mecánica con recuperador de calor:** *“El recuperador es clave en el funcionamiento de un edificio pasivo”;* éste aprovecha el aire interior para adaptar el aire de ventilación tomado del exterior a condiciones más cercanas a las de confort.

- **Ventanas y puertas de altas prestaciones:** *“Las carpinterías son las zonas más débiles de la envolvente”*, por lo que, será fundamental estudiar adecuadamente la colocación de los vanos, así mismo, controlar de que éstas cumplan los requisitos de permeabilidad al aire y de aislamiento térmico adecuados. Por lo general, se deben utilizar ventanas con doble o triple vidrio y bajo emisivo.

- **Optimización de las ganancias solares y del calor interior:** Será fundamental el estudio de la ganancia solar directa para calefactar el edificio, así como el adecuado control de sombras de las superficies acristaladas para no aumentar los requerimientos de refrigeración en verano.

Por otra parte, el estudio del aprovechamiento de las cargas internas del edificio debidas a ocupación, iluminación y equipos será importante para disminuir los requerimientos de calefacción.

- **Modelización energética de ganancias y pérdidas**

El estudio del comportamiento térmico del edificio mediante software con el fin de optimizar su demanda llegando a requerimientos casi nulos cobra una gran importancia.

### 2.1.3 PARÁMETROS OBLIGATORIOS DEL ESTÁNDAR PASSIVHAUS

- Demanda anual como máximo de calefacción: 15 kWh/m<sup>2</sup>.
- Demanda anual como máximo de refrigeración: 15 kWh/m<sup>2</sup>.
- Estanqueidad del aire. Renovaciones por hora obtenidas del ensayo de hermeticidad Blower-Door a 50 Pa: 0,6 renovaciones/ h.
- Energía primaria total demandada por el edificio no debe superar los 120 kWh/m<sup>2</sup> al año.
- Calidad de aire interior: Aporte de aire de renovación en función de la ocupación, bajo las siguientes consideraciones: El caudal de aire mínimo de renovación es de 30 m<sup>3</sup>/h persona. En el sector residencial, la ocupación estimada por este estándar es de 1persona/30m<sup>2</sup>.

## 2.2 VIVIENDA RURAL PERUANA (VRP)

### 2.2.1 ANTECEDENTES

La arquitectura de la vivienda rural ubicada en los andes peruanos es el resultado del conocimiento empírico y experiencias de los pueblos que ahí se asentaron, de modo que, actualmente está fuertemente condicionada por las formas de vida, la geografía agreste, los materiales constructivos y sus tradiciones.

Carazas Aedo (2001), afirma que el origen de la tipología de la VRP tuvo inicio en las expresiones socioculturales de la historia peruana que están comprendidas entre el periodo Pre-inca e Inca. Por lo que, la VRP ha conservado plenamente las características morfológicas y funcionales del origen prehispánico, a diferencia de la vivienda urbana que es resultado de la superposición de las expresiones de la época prehispánica y del virreinato. (**Gráfico 2-2**)

De acuerdo con lo expresado, la historia de la arquitectura de la VRP demuestra que los pueblos originarios han sido capaces de encontrar respuestas con una racionalidad exitosa a las condiciones del medio geográfico en el que habitaron.

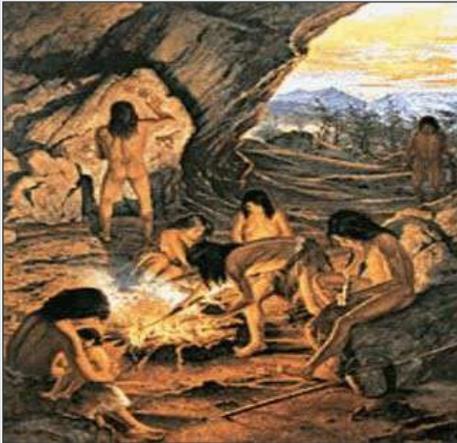
Actualmente, no se puede establecer una tipología contemporánea, porque no existe un modelo de vivienda que mediante nuevos sistemas satisfaga las necesidades del usuario.



Gráfico 2-2. RESUMEN DEL MARCO HISTÓRICO DE LA EVOLUCIÓN DE LA VIVIENDA RURAL PERUANA <sup>9</sup> / (Fuente: Elaboración Propia)

<sup>9</sup> (GAYOSO & PACHECO, 2015)

### 2.2.1.1 Época Prehispánica



**Gráfico 2-3.** REPRESENTACIÓN DE LA CUEVA DE PIQUIMACHAY, AYACUCHO – PERÚ

(Fuente: Historia del Perú/ Marcelo Díaz Vidal)



**Gráfico 2-4.** TIPOLOGÍA DE VIVIENDA CARAL, LIMA - PERÚ

(Fuente: Slideshare/ La civilización de Caral)



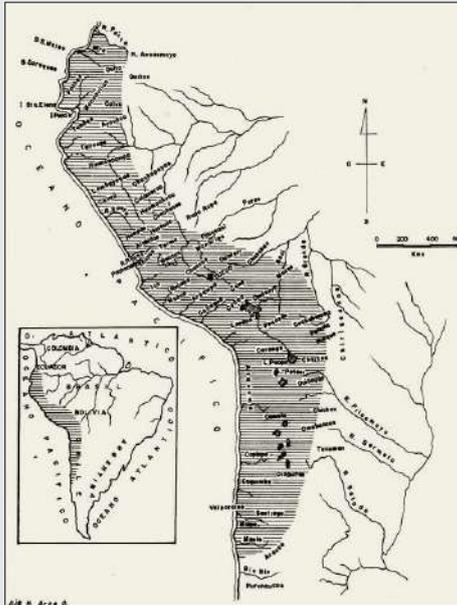
**Gráfico 2-5.** TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA DE LA CULTURA TIAHUANACO

(Fuente: Arquitectura Prehispánica en los Andes bolivianos, Arq. Javier F. Escalante Moscoso, 1997, pag. 111)

En la historia de la arquitectura peruana, inicialmente el hombre antiguo usó cuevas o cavernas naturales. Hacia 7000 a.C. empezó a arreglar las cuevas con barreras de troncos y ramas a la entrada y, más adelante muros pequeños de piedra con perforaciones para la ventilación, en el interior de los refugios construyeron pequeños fogones de piedra para conseguir calor (**Gráfico 2-3**), este viene a ser el primer intento del hombre por conseguir un espacio que le brinde confort térmico.

Entre 3.000 y 1.800 a.C. en el área nor-central del Perú, hubo una esfera de gran integración social, promovida por la civilización Caral, en ella se identifica varios sectores residenciales (**Gráfico 2-4**), que se caracterizan por cerramientos de quincha, con estructura entretejida de tallos de arbustos, cañas y fibras vegetales, recubierta con arcilla mezclada con barro, enlucida y pintada.

De esta manera, los antiguos peruanos demostraron ser excelentes arquitectos y constructores, puesto que utilizaron adecuadamente los recursos de las zonas en las que se asentaron. Es el caso de la cultura Tiahuanaco o Huari que según Concha Flores (2015) data de 600 d.C. e hizo uno de los mayores aportes para la vivienda rural, con una arquitectura elegante y sencilla, expresada en piedra (**Gráfico 2-5**).



**Gráfico 2-6.** MAPA DEL TAHUANTINSUYO

(Fuente: Regal, Alberto. 1936. Los caminos del Inca en el antiguo Perú)



**Gráfico 2-7.** DIBUJO ILUSTRATIVO DE LA KANCHA INCA TRADICIONAL

(Fuente: Revista digital de Arquitectura, Apuntes 90, 12/2016)



**Gráfico 2-8** VIVIENDA INCA

(Fuente: Revista digital de Arquitectura, Apuntes 90, 12/2016)

Más tarde, cuando el imperio Tiahuanaco o Huari perdió hegemonía, se produjo una significativa migración a los andes peruanos, porque, estratégicamente la zona en la que en la actualidad se desarrolla la región del Cusco, presentaba características de clima y recursos para crear una morada propicia.

Alrededor de 1100 d.C. se dio origen al más grande imperio del continente americano, la civilización Inca, que comenzó a extenderse desde su región inicial Cusco hasta lo que hoy en día son los países de Ecuador, Chile, Bolivia y Argentina, el territorio ocupado se denominó Tahuantinsuyo (**Gráfico 2-6**).

Las investigaciones de Jhon Rowe en la capital del Imperio Inca o Tahuantinsuyo, permitieron conocer que la unidad básica de la Arquitectura Inca era un recinto de planta rectangular, construido con piedra o adobe; varios de estos recintos estaban dispuestos alrededor de un patio y cercados por un muro, a esta unidad arquitectónica Inca se define como Kancha (**Gráfico 2-7**), éstas a la vez conforman el Ayllu que fue una unidad política, económica y social básica del estado Inca. Las construcciones incas destinadas a vivienda estuvieron agrupadas en el interior de una Kancha y se caracterizan por la sencillez de sus formas, la solidez, simetría y por buscar armonía con el paisaje (**Gráfico 2-8**).

### 2.2.1.2 Época del Virreinato

Con la entrada de los españoles en la ciudad del Cusco en 1534, concluyó la conquista militar del Perú, llevada a cabo por Francisco Pizarro, y dio inicio a la ocupación española en el área dominada hasta ese momento por el Imperio inca o Tahuantinsuyo<sup>10</sup>.

Ante este suceso se dispuso el ordenamiento de reducciones, que fueron agrupamientos arbitrarios y forzados conocidos con el nombre de comunidades indígenas (las cuales estaban apartadas de la población española). Así, se dejó de llamar ayllus y los miembros de los ayllus fueron retirados de sus territorios y reagrupados arbitrariamente en aldeas; sin embargo, las viviendas de las comunidades indígenas continuaron conservando características de la vivienda inca.

### 2.2.1.3 Época Republicana - Actualidad



**Gráfico 2-9.** VIVIENDA RURAL PERUANA UBICADA EN SIBAYO, AREQUIPA- PERÚ

(Fuente: Plataforma Arquitectura/ Fabio Rodríguez Bernuy)



**Gráfico 2-10.** COMUNIDAD CAMPESINA DE SIBAYO, AREQUIPA- PERÚ

(Fuente: Plataforma Arquitectura/ Fabio Rodríguez Bernuy)

En 1824 se logró de Independencia del Perú, y no es hasta 1969, que el Gobierno peruano implementó una serie de medidas con el objetivo de transformar el panorama social del país, a través de un cambio en el sistema de distribución de la riqueza, especialmente del régimen económico y el de la titularidad de la tierra.

Una de las medidas adoptadas fue la promulgación del Decreto Ley No. 17716 (la Ley de Reforma Agraria) el cual tenía el objetivo de modificar la estructura de titularidad de tierras del país y sustituir los regímenes de latifundio y minifundio por un sistema de redistribución equitativa de la propiedad rural.

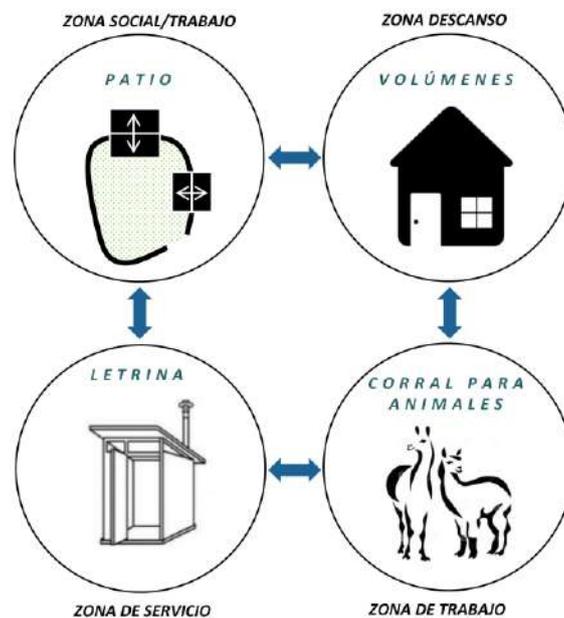
En este proceso de evolución de la VRP, actualmente es posible diferenciar que existe un elemento ordenador que está representado por el “patio” (**Gráfico 2-10**), que se da como resultado de la influencia incaica de las Kanchas; así mismo, se identifica que se han adicionado

<sup>10</sup> (UNTOJA CHOQUE, 2001)

nuevos volúmenes para poder separar las funciones, que son principalmente tres actividades: descansar-dormir, cocinar-comer y almacenar.

## 2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VRP

Del apartado anterior se derivan las principales características de la arquitectura de la VRP, estas características se mantienen prácticamente inalterables desde el siglo XII hasta la actualidad. El planteamiento espacial, la estructura y la planimetría es semejante pese a que fueron apareciendo algunas modificaciones formales, sobre todo en las fachadas.



**Gráfico 2-11.** COMPONENTES DE LA VIVIENDA RURAL  
(Fuente: Elaboración propia)

De acuerdo con Gayoso & Pacheco (2015), la vivienda rural físicamente está compuesta por cuatro elementos (**Gráfico 2-11**): el patio, como un espacio social que representa un eje de organización de la vivienda; los volúmenes, que albergan espacios destinados para cubrir las necesidades básicas del hombre; la letrina, que es un espacio de servicio que ha sido construido por el MVCS a través del PNVR; y por último los espacios para animales a los cuales se les denomina canchones o corrales.

Según los aspectos más generales de la arquitectura se valoran cinco criterios:

### 1. ESPACIO

La VRP está constituida por dos volúmenes a más que están organizados alrededor de un patio distribuidor, En todos los casos el acceso a los espacios se realiza a partir del exterior.

2. FORMA

La VRP está construida en un solo nivel con dos o tres bloques de planta ortogonal y simétricos.

3. FUNCIÓN

El programa arquitectónico incluye un espacio para dormir, otro espacio para cocinar y comer siendo este el más importante según la concepción andina, y uno último para almacenar o guardar los productos y cosechas.

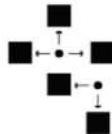
4. MATERIALIDAD

Los materiales empleados para la construcción de las viviendas son tanto tradicionales como industrializados. Se denomina como tradicionales al adobe, la piedra, utilizados en la fabricación de muros y el ichu o paja, utilizado en la construcción de cubiertas. Son denominados industrializados las planchas de zinc (calamina) o lata, también utilizados en algunas viviendas para la construcción de cubiertas.

5. PAISAJE URBANO

La VRP no se encuentra dentro de un entramado urbano, no obstante, existe una simbiosis entre el hombre y la naturaleza, esto en gran medida se debe a que los materiales utilizados para la construcción son trabajados manualmente, y elaborados a base de piedra, tierra, paja, madera, etc.

Tabla 2-1. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE VIVIENDA RURAL

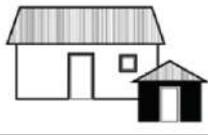
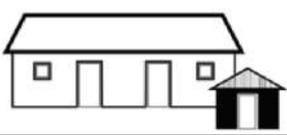
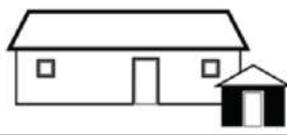
<b>ORGANIZACIÓN ESPACIAL</b>	<b>Modelo de organización</b>	 Agrupada por proximidad	 Radial a partir de un patio central	 A través de múltiples patios o un patio extendido
	<b>Distribución de los espacios</b>	 Próximos		 Contiguos o dentro del mismo volumen
	<b>Ingreso a los espacios</b>	 Desde el exterior		 A través de otro espacio (vinculado interiormente)

<b>FORMA</b>	<b>Geometría</b>	 Ortogonal	 Redondeado	
	<b>Orden</b>	 Simétrico	 Asimétrico	
<b>MATERIALIDAD</b>	<b>Techo</b>	 Tradicional (ICHU O PAJA)	 Industrializado (PLANCHAS DE ZINC)	
	<b>Muros</b>	 Tradicional (ADOBE)	 Industrializado (PLANCHAS DE ZINC)	
<b>FUNCIÓN/ PROGRAMA ARQUITECTÓNICO</b>	 Espacio para dormir	 Espacio para cocinar - comer	 Espacio para almacenar	 Espacio para dormir- cocinar- comer

(Fuente: Gráfico N°13 - Simbología para la caracterización de las viviendas/ GAYOSO & PACHECO, 2015)

### 2.2.3 TIPOLOGÍA DE LA VRP

Tabla 2-2. TIPOLOGÍA DE VIVIENDA RURAL

TIPO	TIPOLOGÍA				
	AUTÓCTONA	TRADICIONAL			TRADICIONAL EN TRANSICIÓN CONTEMPORÁNEA
NOMENCLATURA	T1	T2A	T2B	T2C	T3
SIMBOLOGÍA					

(Fuente: Gráfico N°14 - Tipologías de la vivienda alpaquera alto-andina/ GAYOSO & PACHECO, 2015)

Según (GAYOSO & PACHECO, 2015), de acuerdo a las características de la VRP en la actualidad existe 3 tipologías de VRP.

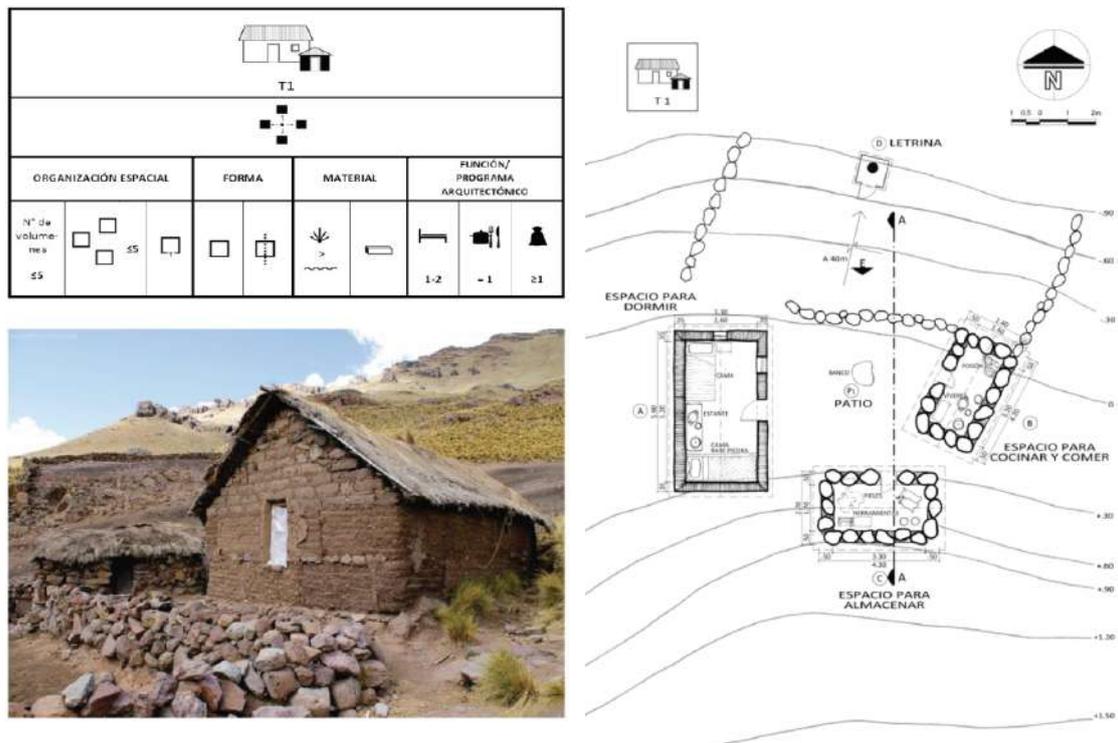
#### 2.2.3.1 TIPOLOGÍA AUTÓCTONA (T1)

**Organización espacial:** espacialmente se conforma por la agrupación de cuatro volúmenes como máximo, organizados alrededor de un patio central distribuidor. En cada volumen se ubica un espacio, el ingreso se realiza desde el patio.

**Forma:** los volúmenes tienen planta ortogonal y simétrica, y se encuentran ubicados de forma próxima.

**Materialidad:** los materiales empleados, los muros de los volúmenes son de adobe, el espacio para cocinar tiene muros de piedra. Mientras que los techos son mayoritariamente de paja.

**Función:** Respecto al programa arquitectónico existe uno o dos “espacios para dormir”, un “espacio para cocinar y comer” y como mínimo un “espacio para almacenar”.



**Gráfico 2-12.** TIPOLOGÍA AUTÓCTONA (T1)

(Fuente: Gráfico N°15- Cuadro resumen de la tipología autóctona en la vivienda alpaquera altoandina / GAYOSO & PACHECO, 2015)

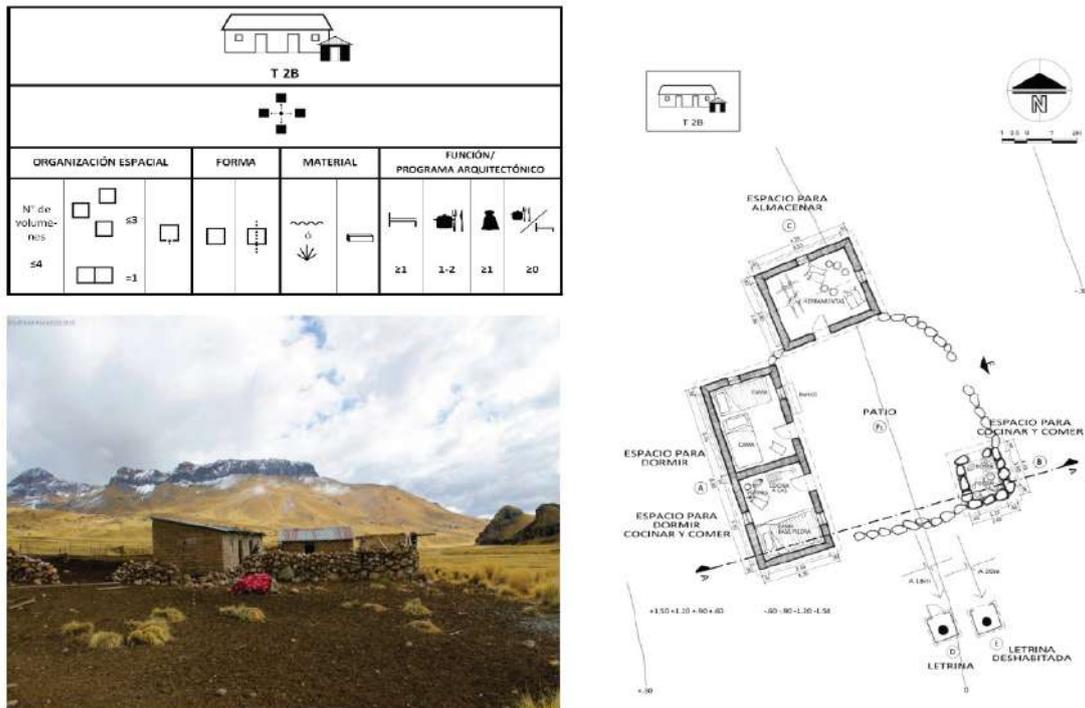
### 2.2.3.2 TIPOLOGÍA TRADICIONAL (T2)

**Organización espacial:** La vivienda está conformada por la agrupación de cinco o más volúmenes que se organizan a través de un patio extendido o múltiples patios distribuidores. El ingreso a cada volumen se realiza desde el patio.

**Forma:** los volúmenes tienen planta ortogonal y simétrica; mayoritariamente se encuentran emplazados de forma próxima, sin embargo, existen al menos dos volúmenes contiguos o con dos espacios interiores.

**Materialidad:** los materiales empleados, los muros de los volúmenes son de adobe, el espacio para cocinar tiene muros de piedra. Mientras que los techos son mayoritariamente de paja.

**Función:** Respecto al programa arquitectónico existe un espacio para “dormir, cocinar y comer”, más de un “espacio para dormir”, uno o dos “espacios para cocinar y comer”, y al menos un “espacio para almacenar”.



**Gráfico 2-13.** TIPOLOGÍA TRADICIONAL (T2)

(Fuente: Gráfico N°17 - Cuadro resumen de la tipología tradicional-base en la vivienda alpaquera altoandina / GAYOSO & PACHECO, 2015)

### 2.2.3.3 TIPOLOGÍA TRADICIONAL EN TRANSICIÓN CONTEMPORÁNEA (T3)

**Organización espacial:** espacialmente este tipo de vivienda está conformada por la agrupación de tres volúmenes como mínimo que en su mayoría están organizados alrededor de un patio distribuidor. Se identifica al menos un volumen con dos o más espacios en su interior que, a diferencia de otras tipologías, se encuentran vinculados interiormente. Esto significa que el ingreso para al menos un espacio se realiza a través de otro espacio y no directamente desde el patio.

**Forma:** los volúmenes tienen planta ortogonal y algunas de los volúmenes pueden ser asimétricos.

**Materialidad:** los materiales empleados, los muros de los volúmenes son de adobe, el espacio para cocinar tiene muros de piedra. Mientras que los techos son mayoritariamente de planchas de zinc.

**Función:** El programa arquitectónico está compuesto por un “espacio para dormir”, uno o dos “espacios para cocinar y comer”, uno o más “espacios para almacenar” y es indistinta la presencia de “espacios para dormir, cocinar y comer”



ORGANIZACIÓN ESPACIAL		FORMA	MATERIAL	FUNCIÓN/ PROGRAMA ARQUITECTÓNICO			
Nº de volúmenes	≥ 2	≥ 2	≥ 2	≥ 1	1-2	≥ 1	≥ 0
Nº de espacios	≥ 1	≥ 1	≥ 0	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 0



**Gráfico 2-14.** TIPOLOGÍA TRADICIONAL EN TRANSICIÓN CONTEMPORÁNEA (T3)

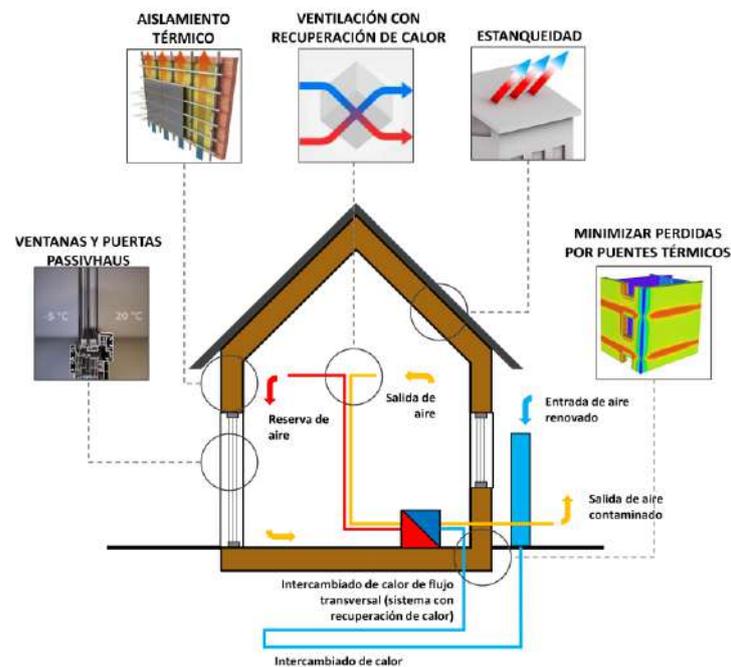
(Fuente: Gráfico N°19 - Cuadro resumen de la tipología tradicional en transición a contemporánea en la vivienda alpaquera altoandina/ GAYOSO & PACHECO, 2015)

[NOTA: de acuerdo a la tipología de VRP estudiada en los apartados preliminares, se verifica que las viviendas cuentan con un patio de distribución que procede de la cancha inca y que los volúmenes generalmente están orientados al este.

Otro punto importante a destacar, es que las funciones de dormir, comer y cocinar pueden desarrollarse en un mismo espacio, esto debido a que la cocina artesanal con biomasa (denominada fogón en Perú), transmite calor durante la noche].

## 2.3 PRINCIPIOS PASSIVHAUS APLICADOS A LA VIVIENDA RURAL

El diseño de viviendas pasivas representa una solución viable para mejorar las condiciones interiores de confort térmico en las viviendas rurales del Perú. Por lo tanto, uno de los factores más importantes de este trabajo es establecer propuestas sobre estrategias para el diseño de viviendas, que permitan optimizar las exigencias del clima frío.



**Gráfico 2-15.** PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO PASSIVHAUS APLICADOS A LA VRP  
(Fuente: Elaboración propia)

De esta manera, las alternativas planteadas deben permitir mejorar significativamente el confort térmico de las viviendas, en consecuencia, la investigación debe contribuir con la mejora del confort térmico y el aprovechamiento de la energía solar en las viviendas como procesos fundamentales para el desarrollo sostenible del país.

El estándar alemán Passivhaus, como vimos en el apartado 2.1, es conocido por sus bajas exigencias energéticas, porque requiere baja demanda de calefacción y refrigeración. Por ello, para obtener estrategias para la VRP con principios del estándar Passivhaus se debe considerar como mínimo las siguientes características y condiciones ideales:

- Principios de aplicación de aislamiento térmico, los coeficientes de transmisión recomendados, en el orden de  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , esto varía según el tipo de cerramiento.

- Las ventanas de alta calidad, de triple vidrio, U del orden de  $\leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ( $0,14 \text{ Kcal/h/ft}^2/^\circ\text{F}$ ) para el marco y cristal; en la actualidad, las ventanas de doble vidrio son la opción más frecuente utilizada, por su todavía bajo coste de inversión.
- Control riguroso de puentes térmicos y su reducción al mínimo, lo ideal sería su ausencia  $\leq 0.01 \text{ W/mK}$  ( $0.006 \text{ Btu/(ft}^2\text{F)}$ ). En la construcción tradicional se pone mucha atención en los puentes térmicos, como una de exigencias del clima, el inconveniente se presenta en el control riguroso de mano de obra de los detalles.
- Uno de principios básicos de eficiencia energética en los hogares son los aparatos domésticos de alta eficiencia energética como refrigeradores, cocinas, lámparas, etc.

Para alcanzar nuestros objetivos, también se debe considerar en el diseño y construcción de la VRP, aspectos fundamentales como la orientación, la envolvente del edificio, la energía solar y que la demanda energética sea mínima.

Para el desarrollo del trabajo, primero se aplicará soluciones pasivas y luego si es necesario se considerará la efectividad de aplicación de sistemas activos específicos de Passivhaus.

## CAPÍTULO II

---

### LUGAR Y CONDICIONES CLIMÁTICAS

## CAPÍTULO II

### LUGAR Y CONDICIONES CLIMÁTICAS

#### 3.1 UBICACIÓN

La zona en estudio está ubicada en los valles mesoandinos, entre 2000 a 3000 metros de altitud en el departamento de Cusco, en la parte sur oriental del Perú. Según la Norma EM. 110, comprende las provincias señaladas en la **Tabla 3-1**, y alcanza una extensión aprox. del 14,6 % de la superficie del departamento.

**Tabla 3-1.** UBICACIÓN DE ZONA BIOCLIMÁTICA POR PROVINCIA

DEPARTAMENTO	1 DESÉRTICO MARINO	2 DESÉRTICO	3 INTERANDINO BAJO	4 MESOANDINO	5 ALTO ANDINO	6 NEVADO	7 CEJA DE MONTAÑA	8 SUBTROPICAL HÚMEDO	9 TROPICAL HÚMEDO
CUSCO				Canas	Canas		La Convención	La Convención	
				Espinar	Espinar				
				Chumbivilcas	Chumbivilcas				
				Cusco					
				Paruro					
				Canchis					
				Acomayo					
				Anta					
				Calca					
				La Convención					
				Paucartambo					
			Quispicanchi						
			Urubamba						

Fuente: Anexo N°5 / (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

PAÍS : PERÚ

Latitud : Sur 13°31'25"

Longitud : Oeste de 71°58'47"

Situación : América del Sur

Fronteras : Al norte, Ecuador y Colombia.  
Al sur, Chile y Bolivia.  
Al oeste, el Océano Pacífico.  
Al este, Brasil.

Población : 31 millones de habitantes, 70% de los cuales constituyen la población urbana y 30% la población rural. (Fuente: INEI).

Superficie : 1.285.216 km<sup>2</sup>.

Densidad : 16,8 habitantes/km<sup>2</sup>.

Capital : Lima.



**Gráfico 3-1.** MAPA POLÍTICO DEL PERÚ  
(Fuente: Pág. Web [www.mapasperu.com](http://www.mapasperu.com))

**Departamento** : CUSCO

**Latitud** : -13,525°

**Longitud** : -71,9722°

**Altitud** : 3369 m

**Zona Horaria** : UTC-05:00 o PET

**Fronteras** : al norte, Loreto y Junín.  
Al sur, Arequipa.  
Al oeste, Apurímac y Ayacucho.  
Al este, Madre de Dios y Puno.

**Población** : 1,316,729 habitantes.

**Superficie** : 71,986 km<sup>2</sup>.

**Provincias** : Acomayo, Anta, Calca, Canas, Canchis, Cusco, Chumbivilcas, Espinar, La Convención, Paruro, Paucartambo, Quispicanchi y Urubamba.



**Gráfico 3-2.** MAPA POLÍTICO DE CUSCO  
(Fuente: Pág. Web [www.mapasperu.com](http://www.mapasperu.com))

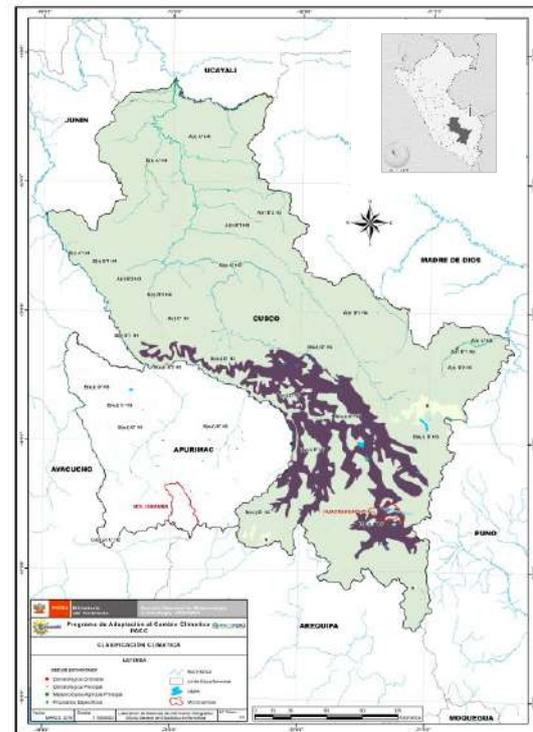
### VALLES MESOANDINOS CUSCO



**Gráfico 3-3.** AGRICULTORES DE LOS VALLES  
MESOANDINOS CUSCO  
(Fuente: Pág. Web <http://www.caritascusco.org>)



**Gráfico 3-4.** CIRCUITO DE LAS CUATRO LAGUNAS,  
POMACANCHI, ACOMAYO  
(Fuente: Pág. Web <https://sites.google.com/acomayo>)



**Gráfico 3-5.** MAPA DE LOS VALLES MESOANDINOS,  
SUPERFICIE APROX. 14,6 % DE CUSCO  
DEPARTAMENTO  
(Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010)

## 3.2 CLIMATOLOGÍA Y DATOS CLIMÁTICOS

En la Norma EM. 110 <sup>11</sup>, la zona bioclimática se define como los parámetros ambientales de grandes áreas geográficas, que sirven para aplicar estrategias de diseño bioclimático en una edificación, en esta se precisa nueve zonas bioclimáticas.

**Tabla 3-2.** ZONIFICACIÓN BIOCLIMÁTICA DEL PERÚ

ZONA BIOCLIMÁTICA	DEFINICIÓN CLIMÁTICA
1	Desértico costero
2	Desértico
3	Interandino bajo
4	<b>Mesoandino</b>
5	Altoandino
6	Nevado
7	Ceja de Montaña
8	Subtropical húmedo
9	Tropical húmedo

Fuente: Tabla N°1, Zonificación Bioclimática/ (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

### 3.2.1 DATOS CLIMÁTICOS

Para el análisis se utilizarán 2 bases de datos climáticos:

1. Archivo de datos climáticos EnergyPlus Climate Data<sup>12</sup> (Estación meteorológica 846860 WMO, Cusco)
2. Recopilación de históricos SENAMHI, Ministerio de Ambiente del Perú.

#### 3.2.1.1 Archivo de datos climáticos ENERGYPLUS CLIMATE DATA.

De acuerdo a la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los archivos de datos climáticos utilizados para el presente estudio de la zona bioclimática Mesoandina en el departamento de Cusco, pertenecen a la Estación Meteorológica N° 846860, Granja Kayra, San Jerónimo, Cusco.

Latitud : -13,55°  
Longitud : -71,98°  
Altitud : 3312 m

De los archivos climáticos obtenidos, se utilizará los siguientes datos:

<sup>11</sup> (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

<sup>12</sup> (U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO), and managed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2017)

- Radiación global horizontal
- Radiación directa normal
- Radiación difusa
- Iluminación global horizontal
- Iluminación normal directa
- Temperatura bulbo seco
- Temperatura punto de rocío
- Humedad relativa
- Dirección del viento
- Velocidad Del Viento
- Temperatura del terreno

#### 3.2.1.2 Datos históricos SENAMHI

En Página Web del SENAMHI<sup>13</sup>, existe datos históricos del clima a partir del año 2011, la estación meteorológica también se encuentra en el lugar denominado Granja Kayra que pertenece a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

Los datos que se disponen son:

- Temperatura Máxima (°C)
- Temperatura Mínima (°C)
- Temperatura Bulbo Seco (°C)
- Temperatura Bulbo Húmedo (°C)
- Precipitación
- Velocidad del viento (m/s)
- Dirección del viento (13h)

La media de las magnitudes medidas durante los 6 años preliminares, permitirá formar un nuevo archivo meteorológico para minimizar los errores en el proceso de simulación.

### 3.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA

La zona bioclimática Mesoandina se caracteriza por su clima semi-frío a frío, de terreno semi-seco a lluvioso con otoño, invierno y primavera secos. Presenta veranos lluviosos e inviernos secos con fuertes heladas.

---

<sup>13</sup> (SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU, 2017)

**Tabla 3-3.** CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LAS ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS		ZONA BIOCLIMÁTICA
		4 MESOANDINO
1	Temperatura media anual	12°C
2	Humedad relativa media	30 a 50%
3	Velocidad del viento	<b>Norte:</b> 10 m/s <b>Centro:</b> 7,5 m/s <b>Sur:</b> 4 m/s <b>Sur – Este:</b> 7 m/s
4	Dirección predominante del viento	S - SO - SE
5	Radiación solar	2 a 7,5 kWh/m <sup>2</sup>
6	Horas de sol	<b>Norte:</b> 6 horas <b>Centro:</b> 8 - 10 horas <b>Sur:</b> 7 - 8 horas
7	Precipitación anual	150 a 2500 mm
8	Altitud	3000 a 4000 msnm
Equivalente en la clasificación Köppen		Dwb
Equivalente en la clasificación Thornthwaite		C(o i)C'H2
Equivalente en la clasificación de Pulgar Vidal		QUECHUA - SUNI

Fuente: Anexo N°5: (B) Características climáticas de la zona bioclimática/  
(MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

Las características climáticas señaladas arriba corresponden con los datos climáticos EnergyPlus, introducidos en el Software CLIMATE CONSULTANT.

WEATHER DATA SUMMARY												LOCATION: CUSCO, PER		
												Latitude/Longitude:	13.55° South, 71.08° West	
												Data Source:	IWECC Data 846860 WMO Station Number: Elevation 3249 m	
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC		
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	414	425	402	496	429	427	442	451	429	446	429	423	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	146	159	141	193	366	408	433	358	214	203	161	155	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	316	313	301	274	193	171	163	205	275	299	311	315	Wh/sq.m	
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	1185	968	787	950	928	883	920	998	1066	985	949	922	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	1057	751	794	964	969	985	987	997	1021	983	600	600	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Max Hourly)	773	777	748	719	480	441	446	666	671	752	751	775	Wh/sq.m	
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	5264	5297	4851	4752	4873	4789	4992	5217	5121	5505	5421	5419	Wh/sq.m	
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	1861	1995	1701	2265	4161	4581	4896	4135	2552	2502	2037	1993	Wh/sq.m	
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	4017	3904	3624	3214	2205	1925	1844	2382	3290	3690	3933	4030	Wh/sq.m	
Global Horiz Illumination (Avg Hourly)	46757	48024	45464	45768	47405	47098	48555	49934	48284	50339	48471	47819	lux	
Direct Normal Illumination (Avg Hourly)	13856	15089	13497	18721	35923	40251	42910	35512	21067	19902	15624	14946	lux	
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	12	12	12	12	11	10	9	10	12	13	13	13	degrees C	
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	6	6	6	6	5	0	1	2	4	4	5	5	degrees C	
Relative Humidity (Avg Monthly)	67	68	69	67	62	55	57	60	61	59	62	62	percent	
Wind Direction (Monthly Mode)	0	300	0	270	330	320	0	0	0	0	270	270	degrees	
Wind Speed (Avg Monthly)	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	m/s	
Ground Temperature (Avg Monthly of 3 Depths)	12	12	12	12	11	11	10	10	10	11	11	12	degrees C	

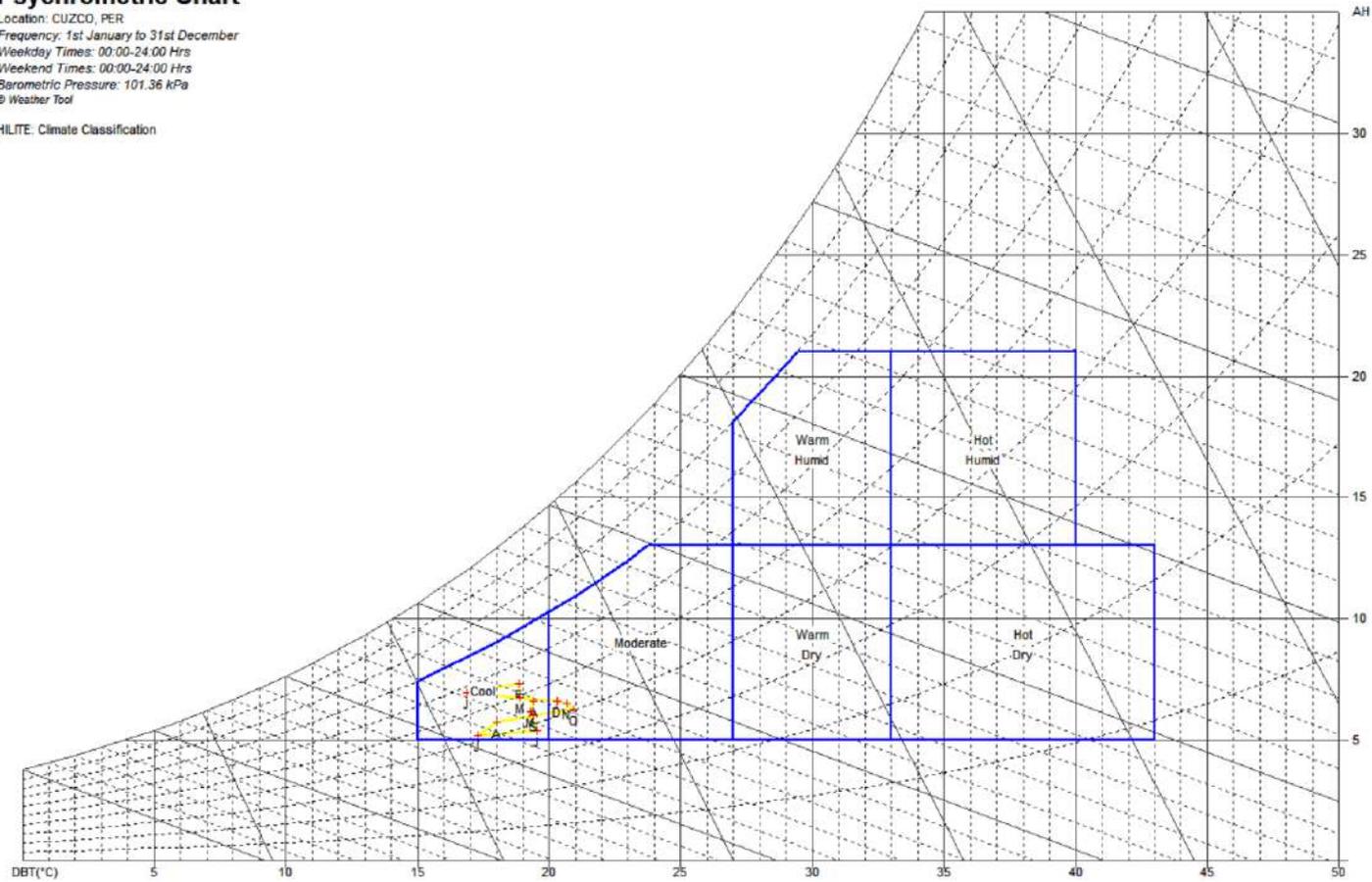
**Gráfico 3-6.** RESUMEN DE DATOS HISTÓRICOS  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)

Según la herramienta **WEATHER-TOOL** de Autodesk, el rango de sensación térmica de la zona bioclimática Mesoandina pertenece al clima frío, como se muestra a continuación:

### Psychrometric Chart

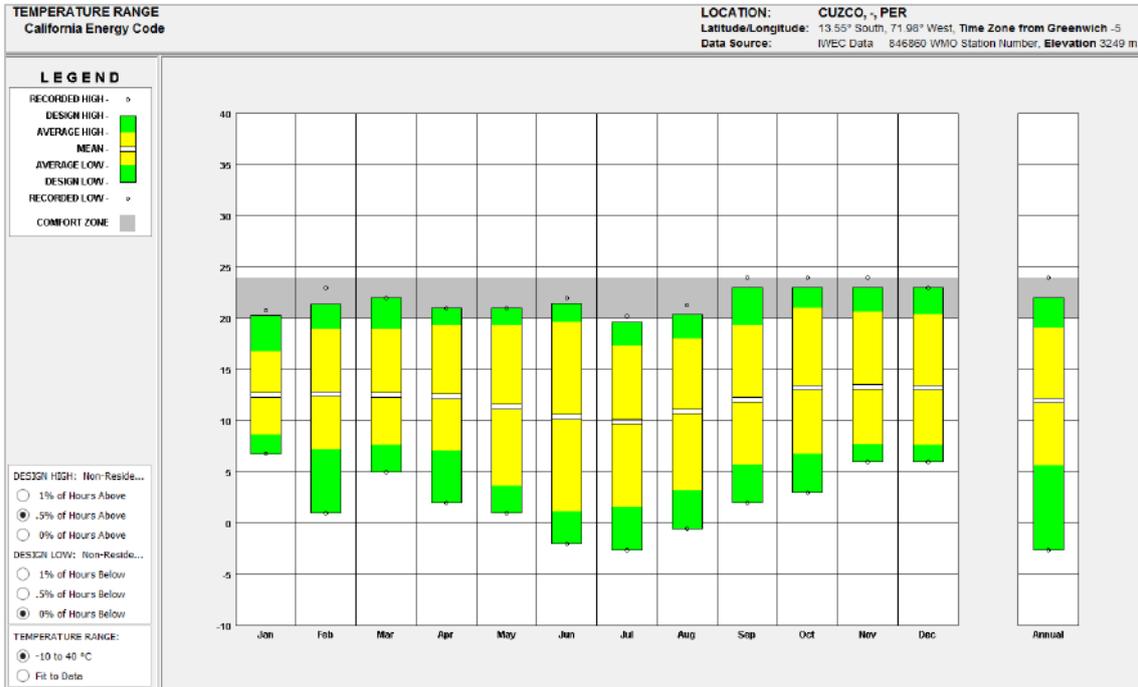
Location: CUZCO, PER  
Frequency: 1st January to 31st December  
Weekday Times: 00:00-24:00 Hrs  
Weekend Times: 00:00-24:00 Hrs  
Barometric Pressure: 101.36 kPa  
© Weather Tool

HILITE: Climate Classification

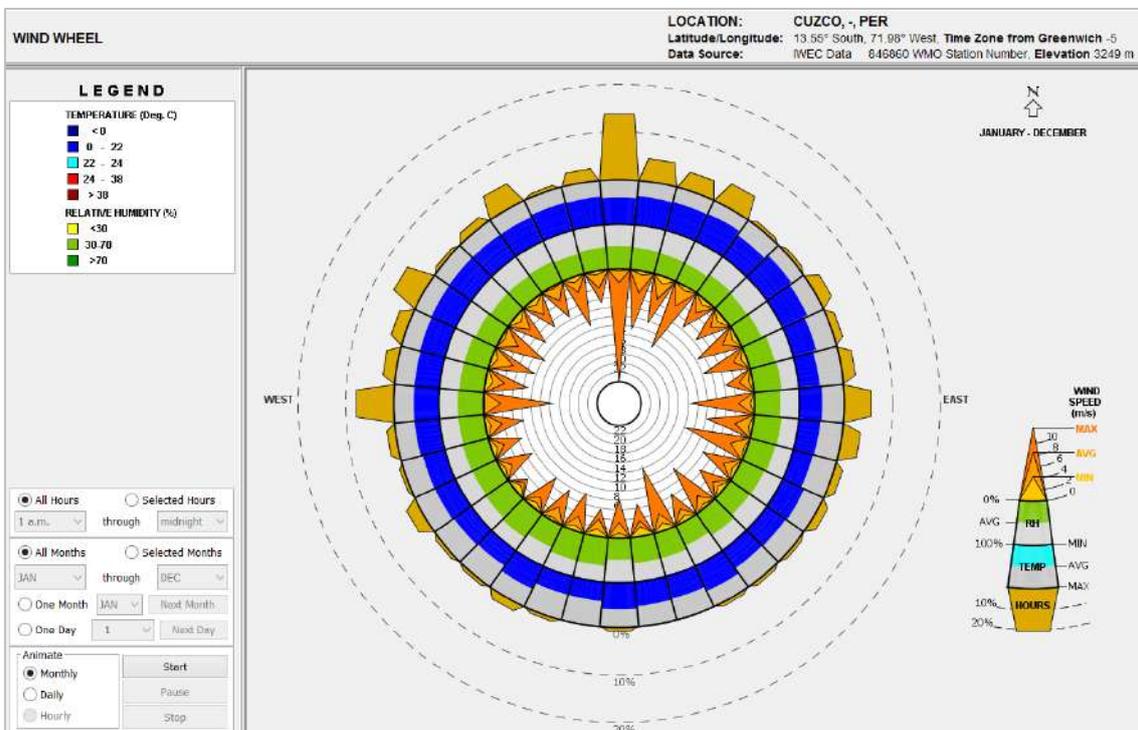


**Gráfico 3-7. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA**  
(Fuente: Herramienta WEATHER-TOOL de Autodesk)

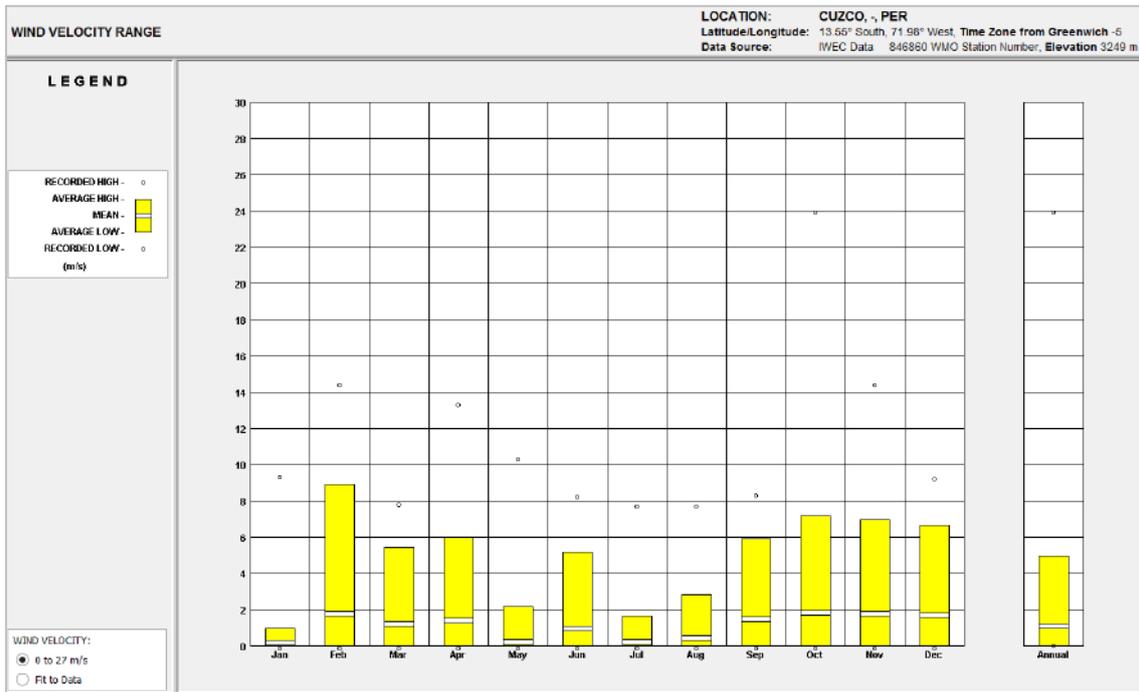
El software **CLIMATE CONSULTANT**, nos permite ver las características climáticas mediante las siguientes gráficas obtenidas:



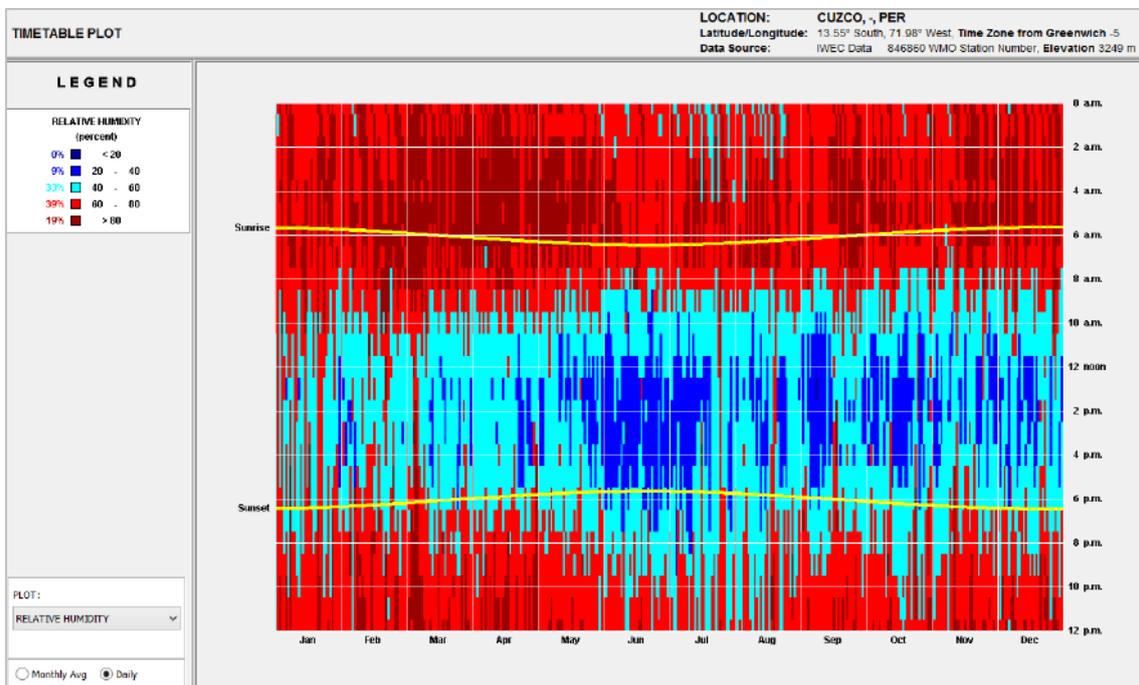
**Gráfico 3-8. RANGO DE TEMPERATURAS**  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)



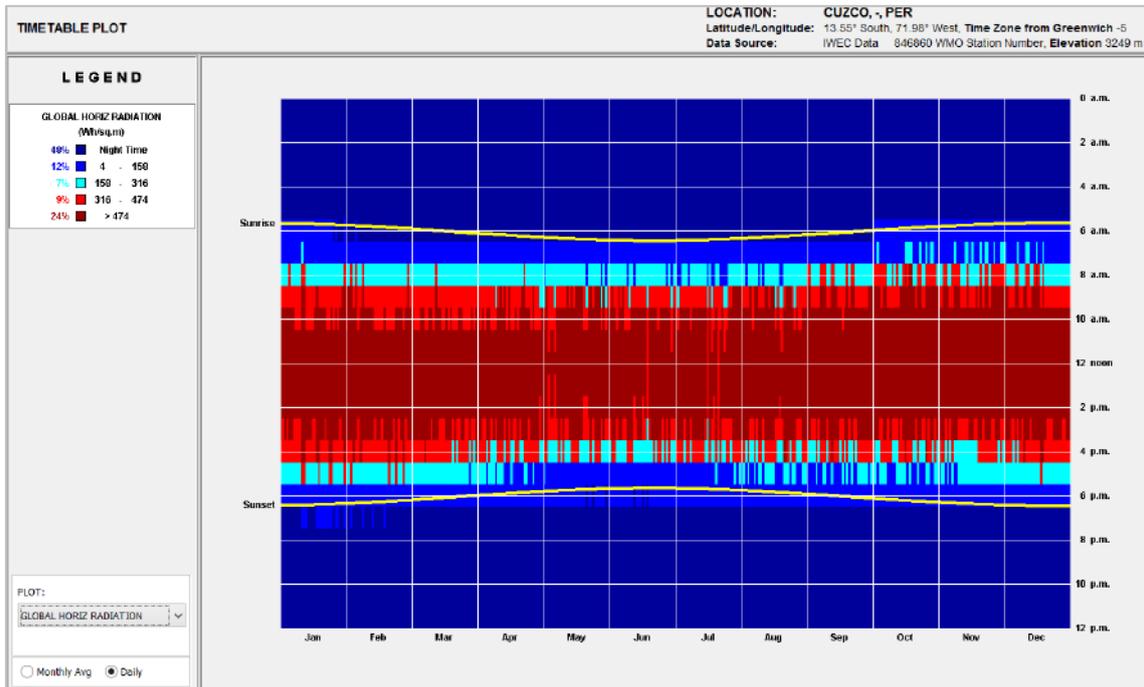
**Gráfico 3-9. ROSA DE LOS VIENTOS**  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)



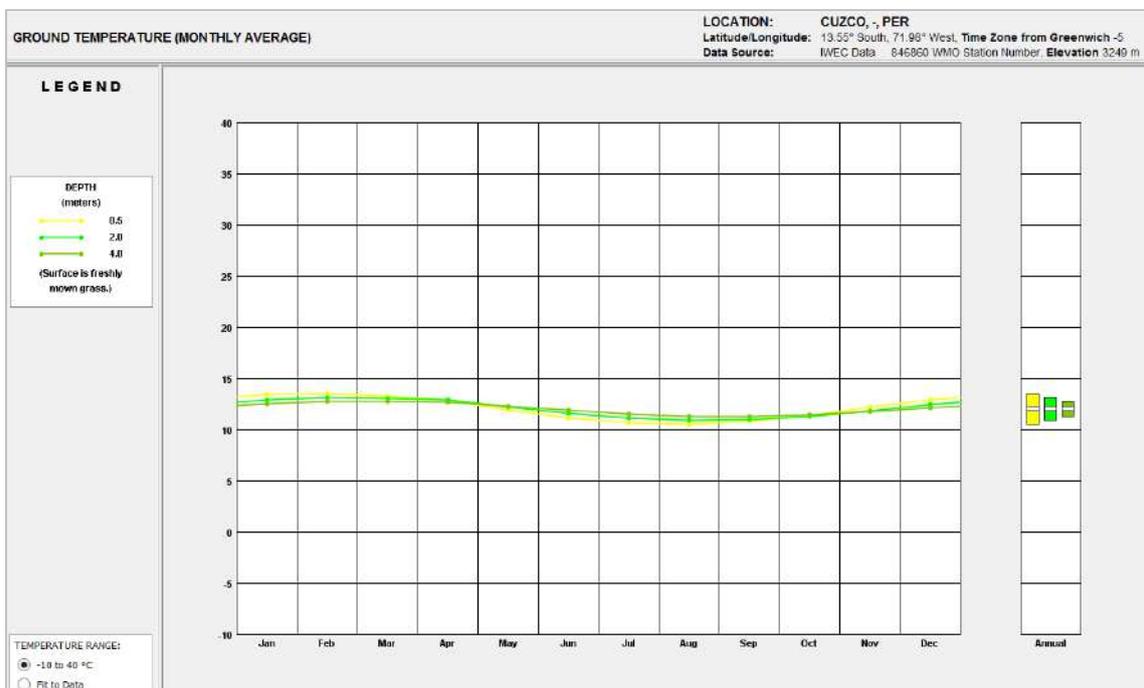
**Gráfico 3-10. RANGO DE VELOCIDAD DEL VIENTO**  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)



**Gráfico 3-11. HUMEDAD RELATIVA ANUAL**  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)

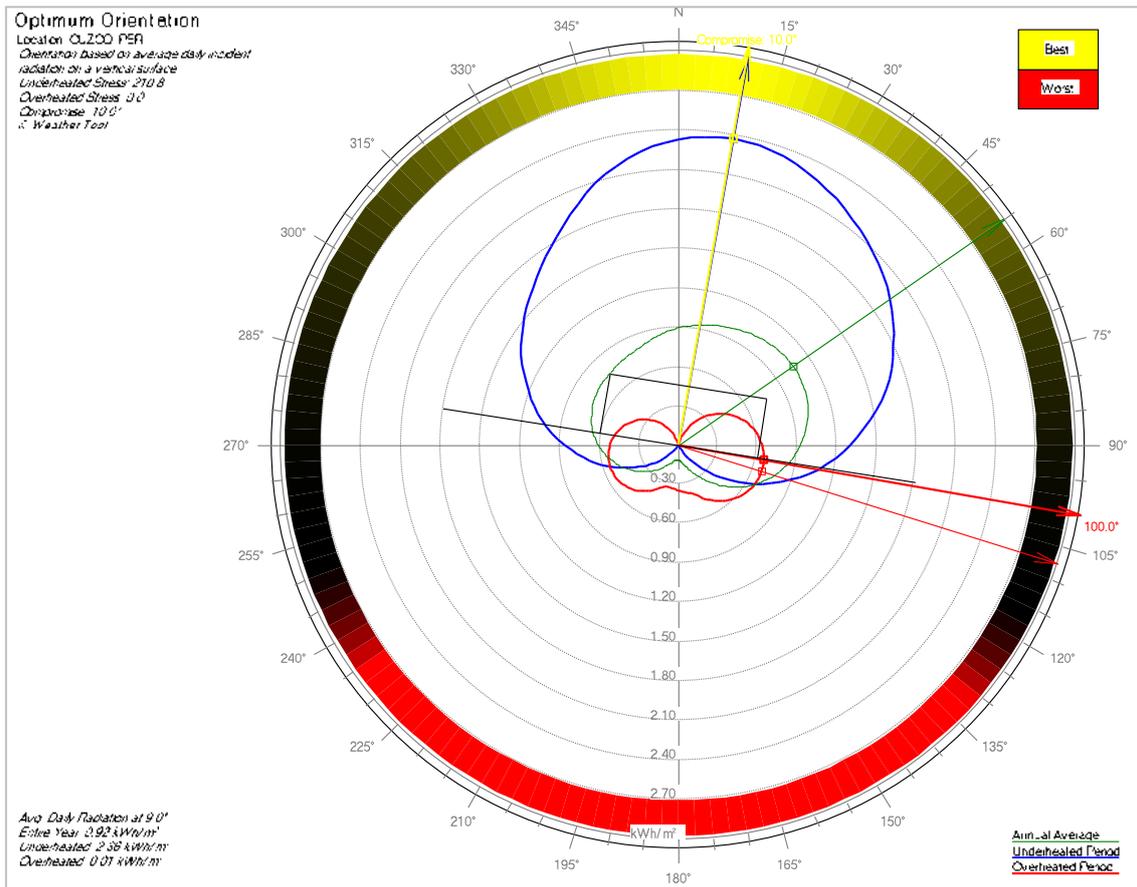


**Gráfico 3-12.** DATOS ANUALES RADIACIÓN GLOBAL HORIZONTAL  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)



**Gráfico 3-13.** TEMPERATURA DEL TERRENO  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)

La herramienta WEATHER-TOOL también nos permite conocer la orientación ideal de acuerdo al emplazamiento del objeto estudiado. En el **Gráfico 3-14** observamos que la orientación que permitirá mejorar las condiciones de confort térmico por ganancia térmica solar es la orientación Norte.



**Gráfico 3-14. ORIENTACIÓN IDEAL PARA LA ZONA MESOANDINA**  
(Fuente: Herramienta WEATHER-TOOL de Autodesk)

## CAPÍTULO III

---

### NORMATIVA Y ANÁLISIS DE REFERENTES

## CAPÍTULO III

### NORMATIVA Y ANÁLISIS DE REFERENTES

#### 4.1 NORMATIVA PERUANA (EM. 110 CONFORT TÉRMICO Y LUMÍNICO CON EFICIENCIA ENERGÉTICA)

Esta normativa fue aprobada con **Decreto Supremo N° 006-2014/VIVIENDA** y publicada el 13 de mayo del 2014, de acuerdo a los procedimientos de selección y contratación de servicios por parte del Estado, su elaboración estuvo a cargo de **GREEN ENERGY Consultoría y Servicios SRL**.

La norma surgió en 03 contextos muy importantes para el país: el impacto del cambio climático; el consumo de energía en viviendas, que corresponde al 50% del total de energía generada; y el incremento de fondos para el sector de la construcción.

En el Seminario de Actualización Normativa “*MODIFICACIONES AL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES EMITIDAS EL 9 AL 13 DE MAYO 2014*”<sup>14</sup>, realizada en el Colegio de Arquitectos del Perú, se dieron a conocer los alcances y limitaciones de la norma, estas últimas en nuestro caso son si, porque, nos permiten conocer las circunstancias originales en que fue elaborada esta normativa.

De acuerdo a la documentación audiovisual obtenida, llegamos a la conclusión de que las limitaciones son las mismas a las que nos enfrentamos hoy en día, éstas son: poca información meteorológica; insuficiente investigación y estudios del tema; y escasa normativa de respaldo.

##### 4.1.1 Software BIOSOL

Para el desarrollo de la normativa se utilizó el Software BIOSOL, para su aplicación el programa requiere únicamente, los datos geográficos de la localidad como latitud, longitud, altitud, los datos de temperatura máxima y mínima promedio de cada mes. Y en el caso de los niveles de iluminancia, valores medidos de irradiancia solar. El objetivo del programa es proporcionar información, concentrada en cinco aspectos. Estos son:

- **Estudio del bioclima:** Como resultado de este estudio el programa muestra el diagrama de isorequerimientos para una determinada región.

---

<sup>14</sup> (GREEN ENERGY Consultoría y Servicios SRL., 2015)

- **Geometría solar:** BIOSOL dibuja las gráficas solares equidistantes y cilíndricas para todos los meses del año y para cualquier latitud especificada.
- **Control solar:** Sobre la gráfica solar equidistante, muestra las horas del día en que se requiere protección solar de acuerdo con el diagrama de isorrequerimientos. Mediante el uso de mascarillas de protección, se presenta las sombras que provocaría el uso de aleros y partesoles.
- **Radiación solar:** Este software realiza una estimación horaria de la irradiancia solar directa que incidiría en cualquier fachada de un edificio durante todo el año, en condiciones de cielo claro.
- **Iluminación natural:** Si se cuenta con datos medidos de irradiancia horaria en superficies horizontales, el programa permite evaluar el potencial de iluminación natural mediante la estimación de los niveles exteriores de iluminancia horaria en condiciones distintas de cielo.

*[NOTA: el software BIOSOL es una herramienta que permite obtener información básica; el uso mínimo de datos requeridos por el programa, en nuestro caso, puede presentarse como una desventaja, por el margen de error que puede existir en la simulación energética].*

#### 4.1.2 CRITERIOS PARA LA APLICACIÓN DE LA NORMA EN ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA

Según la Norma EM. 110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética, los lineamientos y/o parámetros técnicos de diseño para el confort térmico y lumínico de la zona bioclimática Mesoandina, son los siguientes:

##### 4.1.2.1 CONFORT TÉRMICO

Demanda energética máxima para zona bioclimática Mesoandina.

4.1.2.1.1 Transmitancias térmicas máximas de los elementos constructivos de la edificación  
Ninguno de los componentes unitarios de la envolvente debe sobrepasar las transmitancias térmicas máximas según los valores de la **Tabla 4-1**.

**Tabla 4-1.** VALORES LÍMITES MÁXIMOS DE TRANSMITANCIA TÉRMICA (U) EN W/M<sup>2</sup>K

Zona Bioclimática	Transmitancia térmica máxima del muro (U <sub>muro</sub> )	Transmitancia térmica máxima del techo (U <sub>techo</sub> )	Transmitancia térmica máxima del suelo (U <sub>suelo</sub> )
4. Mesoandino	2,36	2,21	2,63

Fuente: Tabla N°2: Valores límites máximos de transmitancia térmica (U) en W/m<sup>2</sup>K / (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

*[NOTA: cuando hablamos de envolvente, nos referimos a los muros, suelos y/o techos].*

#### 4.1.2.1.2 Condensaciones

Las envolventes no deberán presentar humedades de condensación en su interior, que degraden sus condiciones. Por lo tanto, se debe cumplir que:

$$T_{si} > t_r$$

$T_{si}$  : temperatura superficial interna

$t_r$  : temperatura de rocío

#### 4.1.2.1.3 Permeabilidad al aire de las carpinterías

El tipo de carpintería de ventanas, se clasifica de acuerdo a su permeabilidad al aire, que se define como la cantidad de aire que pasa a través de una ventana cerrada.

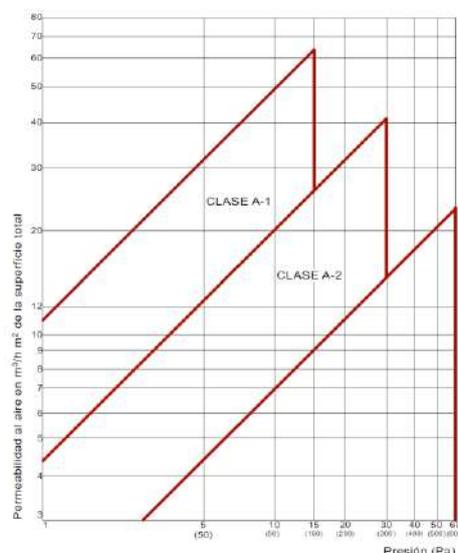
**Tabla 4-2.** CLASES DE CARPINTERÍAS DE VENTANAS

Zona Bioclimática	Clase de permeabilidad al aire
4. Mesoandino	Clase 2

Fuente: Tabla N°3: Clases de carpinterías de ventanas por zona bioclimática / (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

Según la permeabilidad al aire las carpinterías se clasifican en Clases A-1 y A-2 en el gráfico logarítmico siguiente, con coordenadas de permeabilidad referida a superficie total del hueco practicable y diferencia de presión.

El ensayo de permeabilidad al aire pertenece la Norma UNE 7-405-76 (correspondiente a la Norma Europea EN 42), y los resultados pertenecen a la Norma UNE 85-205-78 (correspondiente a la Norma Europea EN 78).



**Gráfico 4-1.** CLASIFICACIÓN DE VENTANAS POR SU PERMEABILIDAD AL AIRE

(Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010)

En el **Gráfico 4-1**, se establece la permeabilidad al aire de las carpinterías de ventanas, medidas con una sobrepresión de 100 Pascales (Pa) referida a la superficie total.

**Tabla 4-3.** RANGO DE LA CLASE 2 DE PERMEABILIDAD AL AIRE

Clase de permeabilidad de aire	Rango
Clase 2	< 20 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> (para presiones hasta 300 Pa)

Fuente: Tabla N°4: Rangos de las clases de permeabilidad al aire / (MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO, 2014)

*[NOTA: las medidas de confort térmico establecidas en la normativa, servirán de parámetros cuantitativos para analizar los resultados de las simulaciones energéticas en los siguientes capítulos].*

## 4.2 REFERENTES CONSTRUCTIVOS Y ARQUITECTÓNICOS EN PERÚ

En la aproximación de la arquitectura en el contexto rural, las viviendas analizadas a continuación, son el resultado de una búsqueda por comprender y vincular a la arquitectura con las características ambientales y sociales del territorio.

Comprender el entorno inmediato, las necesidades del usuario y los modos locales de apropiación del espacio, generan un efecto positivo tanto en la eficiencia de la vivienda en el tiempo como en la mejoría de la calidad de vida de sus habitantes.

En el contexto mundial, los retos asociados a brindar viviendas adecuadas y asequibles exigen que los arquitectos respondan con soluciones originales que desafían las formas tradicionales de construcción y de tipologías.

Los proyectos ejecutados para la VRP con soluciones de eficiencia energética, en la actualidad, son el inicio hacia la búsqueda de conocimiento y experiencias; por lo tanto, representan un aporte de escala social y de territorio porque en este proceso se viene utilizando y adaptando los recursos locales disponibles para alcanzar los objetivos.

Las propuestas planteadas son una alternativa frente al friaje que afecta a las diferentes comunidades campesinas que se encuentran sobre los 3000 msnm en el Perú; sin embargo, para que este concepto se generalice y ofrezca verdaderos resultados, es necesario ir ofreciendo aportes como una necesidad cada vez más obvia. Se trata de un proceso largo y lento, que se da para alcanzar soluciones viables, al mismo tiempo que los profesionales debemos estar a la altura de los escenarios.



**PROYECTO:**  
**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE CAMBIOS  
CONSTRUCTIVOS PARA LOGRAR CONFORT TÉRMICO EN  
UNA VIVIENDA ALTO ANDINA DEL PERÚ**

**Elaborado por:** Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI)

**Ubicación:** Comunidad San Francisco de Raymina, provincia Vilcashuamán, Ayacucho.

**Promotor:** Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

**Fecha:** 2009

La aplicación de este trabajo de investigación se realizó en una vivienda rural a 3700 m.s.n.m., en ella se midieron las condiciones climáticas por un periodo de 14 meses, en este proceso, también se registró las temperaturas de aire y humedad relativa (H.R.) en los ambientes de la vivienda estudiada. Como resultado del diagnóstico térmico realizado se comprobó que era necesario elevar las temperaturas de aire dentro de la Vivienda, con la ayuda del software EnergyPlus 3.0; se propuso modificaciones constructivas para mejorar las condiciones térmicas al interior de la vivienda modificada.

**Presupuesto:** 3152 €

**Criterio de análisis:**

**Lugar:** Emplazamiento

**Texto:** Aspecto Funcional

**Tectónica:** Explicación del sistema constructivo

**Eficiencia energética:** Estrategias



**Gráfico 4-2.** PROYECTO DE CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS MODIFICADAS  
Fuente: (Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI), 2009)

## EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE CAMBIOS CONSTRUCTIVOS PARA LOGRAR CONFORT TÉRMICO EN UNA VIVIENDA ALTO ANDINA DEL PERÚ

### EMPLAZAMIENTO

Latitud : 13° 45' 26"  
Longitud : 73° 51' 26"  
Altitud : 3700 m

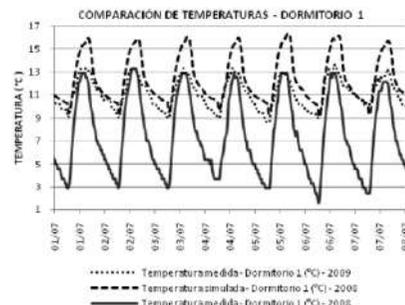
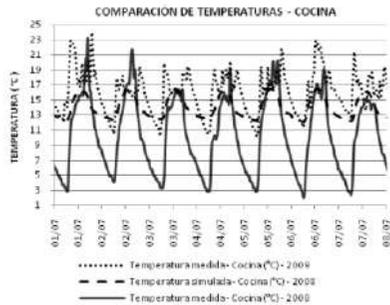
### PROGRAMA ARQUITECTÓNICO

**Área**  
**68,63 m<sup>2</sup>**  
Dormitorio principal  
Dormitorio sec.  
Cocina  
Salón

### SISTEMA CONSTRUCTIVO

Muro	Adobe de 38 x 38 x 13 cm.
Cubierta	Plancha de zinc
Suelo	Terrero
Carpintería	02 puerta de ingreso (1.00m x 2.15m) una de madera y la otra de plancha metálica sin marco. 02 ventanas (1.04 m x 1,00m) con vidrio simple (3mm espesor)
Invernadero	01 Invernadero adosado a las paredes de los dormitorios. En las configuraciones donde se simula un invernadero adosado a los dormitorios, estos últimos sólo intercambian masa de aire con el invernadero. 01 Invernadero adosado a las paredes de la cocina y la sala.
Piso	Aislamiento de pisos de ambientes: cama de piedra (15 cm) – aire (6 cm) – tablas de madera (2 cm).
Techo	Aislamiento de techos con una configuración tipo sándwich: calamina metálica – paja – planchas de fibrocemento.
Claraboyas	5 claraboyas de policarbonato, cada una de 1.2 m x 1 m, las cuales se cubren de noche, el área ocupada aproximadamente es 25% del área del techo, la simulación se realizó con un manto de lana de 2 cm de espesor desde las 5 p.m. hasta las 6 a.m.
Cocina mejorada	Son cocinas que permiten cocinar con leña de manera óptima.

### ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA



**COMENTARIO:** con las alternativas planteadas para esta intervención, se logró aumentar las temperaturas interiores de la vivienda desde 3 °C, hasta condiciones mínimas de 11 °C, para ello se utilizó como recurso principal la ganancia solar, con la implementación de las estrategias señaladas se verifica que con tecnologías adecuadas como los sistemas de aislamiento y la cocina mejorada se puede incrementar la temperatura interior de la vivienda.



**PROYECTO:**

**CCASAMANTA QARKANAKUSUM**

**Elaborado por:** CARE Perú

**Ubicación:** comunidad campesina de Santa Ana, provincia de Huaytara, departamento Huancavelica, Perú.

**Promotor:**

Comisión Europea para la Ayuda Humanitaria (ECHO)  
Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional

**Fecha:** 2010

En el proyecto Ccasamanta Qarkanakusum, las acciones de mejora en el **confort térmico se han realizado en construcciones nuevas, así como en viviendas existentes**, entre ellas tenemos los ductos solares, cielos rasos, pisos aislantes, muros trombe - modelo fitotoldo – que funcionan también como invernaderos, cocinas mejoradas, y el fortalecimiento de las capacidades en las familias y en las organizaciones comunitarias.

**Presupuesto:** 7.098,75 € ≅ S/25.000,00

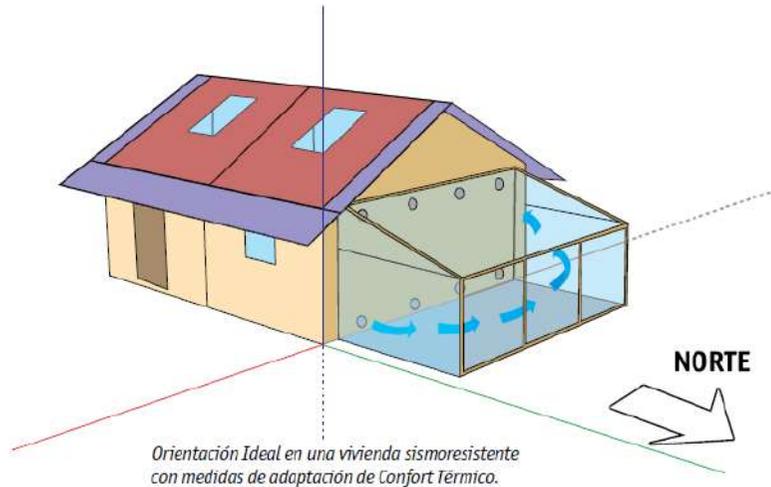
**Criterio de análisis:**

**Lugar:** Emplazamiento

**Texto:** Aspecto Funcional

**Tectónica:** Explicación del sistema constructivo

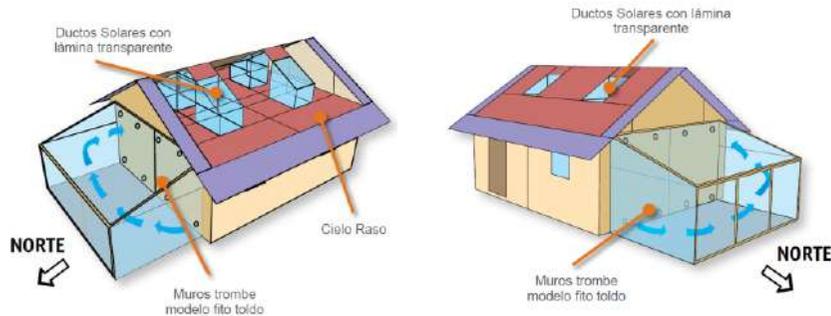
**Eficiencia energética:** Estrategias utilizadas

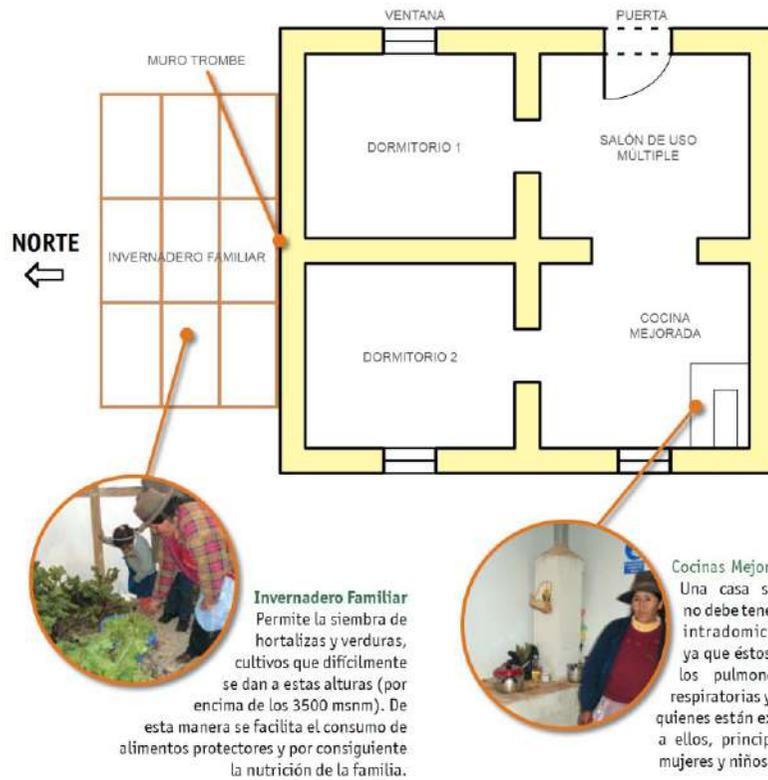


**Gráfico 4-3.** PROYECTO DE CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS CONSTRUIDAS POR CARE PERÚ  
Fuente: (CARE Perú, 2010)

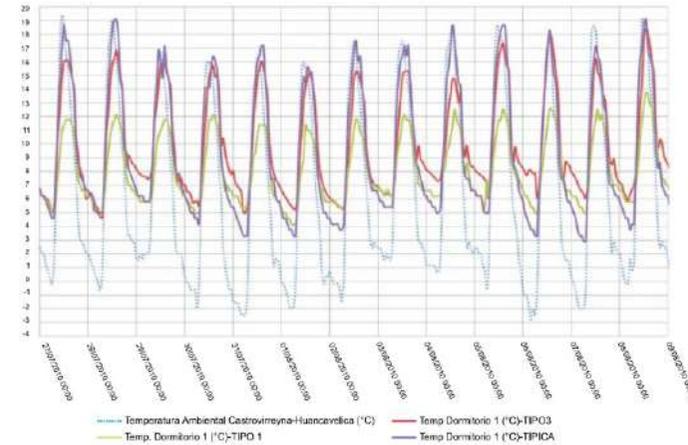
## CCASAMANTA QARKANAKUSUM

<b>EMPLAZAMIENTO</b>	Latitud : - 13.07° Longitud : - 75.14° Altitud : 4473 m
<b>PROGRAMA ARQUITECTÓNICO</b>	Área <b>56.21 m<sup>2</sup></b> Dormitorio principal Dormitorio sec. Cocina Salón
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>	Muro : Adobe de 45 cm. Cubierta : Plancha de Fibrocemento, sobre una cama de paja y plástico. Falso techo : Triplay a 2.40 m del piso. Suelo : Compuesta por: 1° Cama de piedra de 15 cm. 2° Listones de madera de 3" x 2". 3° Piso de madera 1" de espesor. Carpintería : 01 Puerta exterior de madera de 2.1 x 1m 03 Ventanas de vidrio simple con estructura metálica, y cerramiento de triplay.
<b>ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA</b>	Muros trombe, modelo fitotoldo : Para transferir calor generado durante el día hacia los dos dormitorios mediante intercambio – por fenómeno de convección- de aire caliente y frío entre los ambientes. Consiste en una estructura de madera tornillo (área de 15 m2, puerta y ventana pequeña para ventilación), cubierto con planchas de policarbonato transparente y forrado lateralmente con plástico (denominado agro film a prueba de rayos ultra violeta). Falso techo : Con tapajuntas centrales y rodones perimetrales, sujetado en un entramado de madera. Lucernarios : Permiten mayor iluminación, cuentan con ventanas correderas que se cierran de noche. Pisos de madera : Sobre una cama de piedra para evitar la fuga de temperatura del ambiente y reducir la humedad por capilaridad. Cocina mejorada : Son cocinas que permiten cocinar con leña de manera óptima.





RESULTADOS: en el gráfico que sigue se muestran las temperaturas medidas entre los días 27 de julio y 9 de agosto de 2010; en este se aprecia las temperaturas de los dormitorios en los tres tipos de vivienda (el que corresponde a la vivienda analizada es la Viv. Tipo 3) y la temperatura exterior.



INVERNADERO FAMILIAR

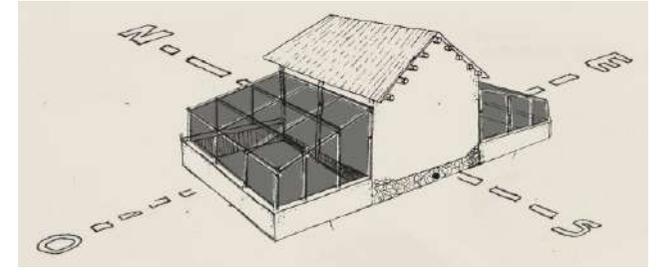


LUCERNARIOS



COCINA MEJORADA

**COMENTARIO:** La acción de mejora de confort térmico comprende, ductos solares, cielo raso, pisos aislantes, muro trombe modelo fitotoldo y cocinas mejoradas. Según sus resultados obtenidos, se observa que en este proyecto se logró incrementar la temperatura promedio mínima de 5°C a 10°C aproximadamente. Y de acuerdo a la tipología arquitectónica este módulo representa una propuesta nueva, porque muestra otras características tipológicas diferentes a las estudiadas en el Capítulo I de este trabajo.



**PROYECTO:**

**ABRIGANDO HOGARES**

“Experiencia con medidas de confort térmico en viviendas rurales alto andinas”

**Elaborado por:** Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

**Ubicación:** Centros poblados de San Felipe y Santa Rosa de Tambo en la provincia de Huaytará, región Huancavelica.

**Promotor:**

Programa Nacional de Vivienda Rural (PNVR)  
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (MVCS)

**Fecha:** 2011 - 2016

Este proyecto pertenece al gobierno peruano, en este se promueve la implementación de una serie de medidas para mejorar el confort térmico de las viviendas existentes, medidas que por su relativa sencillez pueden ser replicadas por el usuario de la vivienda rural.

Las medidas se orientan al aislamiento total de la vivienda, y la captación de calor de forma pasiva, para hacerla lo más confortable posible. La combinación de las distintas estrategias establecidas da como resultado una vivienda aislada del frío, que capta el calor diurno del sol y que lo conserva durante la noche.

**Presupuesto:** --

**Criterio de análisis:**

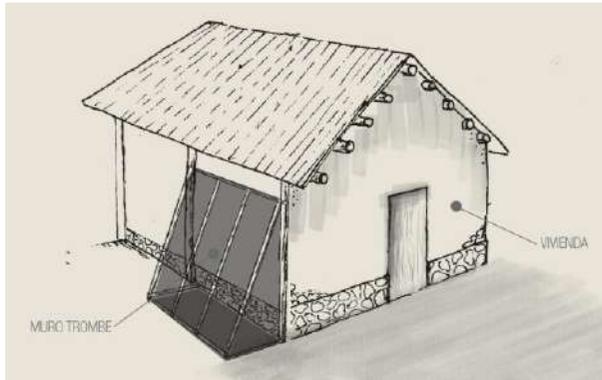
**Lugar:** Emplazamiento

**Texto:** Aspecto Funcional

**Tectónica:** Explicación del sistema constructivo

**Eficiencia energética:** Estrategias utilizadas

## ABRIGANDO HOGARES



**Gráfico 4-4.** PERSPECTIVA DE VIVIENDA CON MURO TROMBE  
Fuente: (PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA RURAL, 2013)

### EMPLAZAMIENTO

Latitud : - 13.07°  
Longitud : - 75.14°  
Altitud : 3.200 m.s.n.m. - 4.480 m.s.n.m.

### PROGRAMA ARQUITECTÓNICO

**Área** 40 m<sup>2</sup>  
02 Dormitorios  
Cocina - comedor - salón

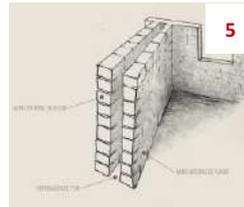
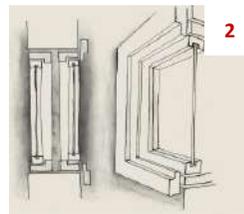
### SISTEMA CONSTRUCTIVO

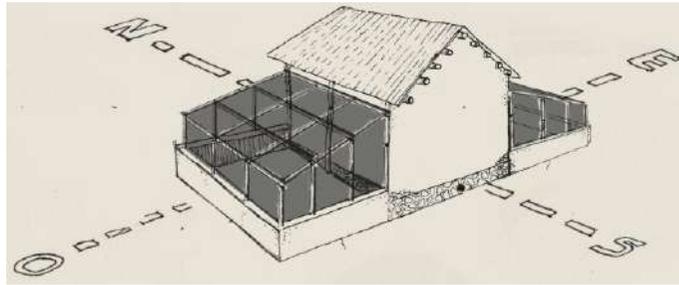
**Muro** Muros de 40 cm de adobe.  
**Cubierta** Tela, aire, paja, plástico y fibrocemento. La estructura planteada disminuye las pérdidas de calor.  
**Claraboya** Permite el ingreso del calor en el día y evita las pérdidas nocturnas o en días fríos.  
**Suelo** Aislamiento Higrotérmico del piso: Piso de Madera con cama de piedra. Evita el ascenso de la humedad y el descenso del calor.  
**Carpintería** Puerta exterior de madera de 2.1 x 1m  
02 Ventanas de 50 x 50 cm, con vidrio doble con estructura de madera, y cerramiento de triplay.

### ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

**Vanos** TIPO 1: Ventana doble, está compuesta por dos hojas de vidrio colocadas en un mismo vano, separadas por una cámara de aire.  
TIPO 2: Doble puerta y ventana con vidrio doble y contraventana, los vidrios deben estar separados a 1 cm, para elevar la resistencia térmica y disminuye las pérdidas de calor.  
**Techo** TIPO 1: Cielo raso aislante.  
TIPO 2: Aislamiento térmico de techos con calamina metálica, colchoneta de lana de oveja y plancha de fibrocemento.  
TIPO 3: Aislamiento de techo con colchón de totora.  
**Muro** TIPO 1: Aislamiento de muro de piedra con colchón de totora.  
TIPO 2: Muros contenedores de calor.  
**Piso** TIPO 1: Aislamiento higrotermico con una cama de piedra y una cama de entablado de madera.  
TIPO 2: Piso antihumedad con acabado de madera o barro pulido.  
TIPO 3: Aislamiento de piso con sabana de plástico, plancha de tecnopor y entablado de madera.  
TIPO 4: Piso de cemento pulido.

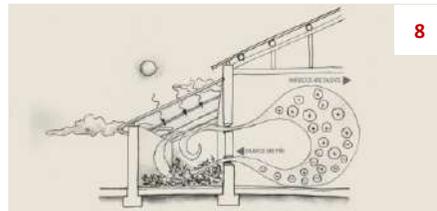
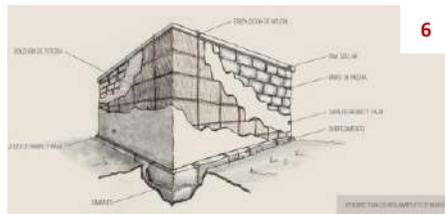
1. Ventana doble y contraventana. Fuente: Archivo GIZ.
2. Detalle de ventana doble. Fuente: Archivo PNVR – MVCS.
3. Cielo raso aislante. Fuente: Archivo CER – UNI.
4. Colocación de planchas de fibrocemento. Fuente: Archivo CER – UNI.
5. Muros contenedores de calor. Fuente: Archivo IICA – CADEP.





**Gráfico 4-5. PERSPECTIVA DE INVERNADERO ADOSADO O - E**

Fuente: (PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA RURAL, 2013)



6. Aislamiento de muro de piedra con colchón de tatora. Fuente: (CTIERRA - PUCP)  
7. Colocación de tablas de madera. Fuente: Archivo CER – UNI.  
8. Fitotoldo adosado. Fuente: (ACCIH - GIZ)

ESTRATEGIAS DE  
EFICIENCIA  
ENERGÉTICA



Muros trombe	<p>Este sistema consiste en crear un espacio de aire caliente colocando láminas de vidrio o plástico a una distancia determinada entre el ambiente exterior y una pared (adobe, ladrillo, hormigón) pintada de un color oscuro, la cual tiene orificios en la parte superior e inferior.</p> <p>Durante el día, el aire que está entre la pared y el vidrio se calienta y se eleva hasta la parte alta del muro Trombe, ingresando a la habitación por los orificios superiores de la pared. El aire frío de la habitación ingresa al muro Trombe por los orificios inferiores y de igual forma se calienta y vuelve a ingresar a la habitación por los orificios superiores. Es necesario tener en cuenta que este proceso se invierte en las noches, por esta razón, los orificios deben de ser cerrados cuando empieza a oscurecer.</p> <p>La pared debe estar pintada de un color oscuro (preferentemente negro) para que absorba los rayos del sol y transporte el calor ganado a través del muro Trombe para luego liberarlo a la habitación.</p>
Invernadero adosado	<p>La construcción de este invernadero se realizó adosándolo a los muros de una vivienda, ubicando uno en el lado este y el otro en el lado oeste, constituido con una base sólida de cemento y sobrecimiento y una estructura de madera con cobertura de material translúcido, que genera "el efecto invernadero". De esta manera, la radiación solar atraviesa la cobertura translúcida, genera calor y eleva la temperatura del aire en el interior. Este aire caliente quedará almacenado hasta el final del día, para ser transferido al interior de la vivienda a través de dos filas de agujeros pasantes a una distancia de 10 o 15 centímetros del suelo y a 10 o 15 centímetros del techo, generando un lazo convectivo que llevará el aire caliente del invernadero a la vivienda y traerá el aire frío de la vivienda al interior del invernadero, para que se caliente y retorne a esta.</p>
Fitotoldo adosado	<p>El fitotoldo transmite el calor acumulado en su interior, debido a la convección del aire, cuando se abren las tapas de los ductos que lo comunican directamente con la vivienda. La diferencia de densidad entre el aire caliente (interior del fitotoldo) y el aire frío (interior de la vivienda), provoca el movimiento del mismo en una u otra dirección, lo que depende de las tapas que estén abiertas. El calor acumulado también se transmitirá a través del muro que comparten el fitotoldo y la vivienda, debido a la conducción.</p>

**COMENTARIO:** En este proyecto, de acuerdo a la medición de temperaturas se concluye que la implementación de los sistemas de aislamiento térmico: ventana doble, piso de madera, cielo raso, y los sistemas de captación de calor: claraboya en techo, fitotoldo adosado o muro trombe, instalados en las viviendas intervenidas permiten elevar la temperatura en: - 3 °C a 8 °C en relación con una vivienda sin confort, - 5 °C a 10 °C grados en relación con la temperatura del ambiente exterior.

## ANÁLISIS DE REFERENTES

Respecto al análisis para alcanzar confort térmico con las estrategias de eficiencia energética planteadas en los tres referentes tipológico anteriores, podemos afirmar que, las alternativas pasivas utilizadas permitieron incrementar las temperaturas interiores 5°C en promedio, lo que significa que si se realiza un análisis más riguroso sobre materiales y sistemas que se puedan implementar en la construcción de las viviendas, se puede alcanzar niveles de temperatura requeridos para alcanzar confort térmico, esto significa que las temperaturas interiores alcanzadas oscilarían entre 18° y 26°, para brindar bienestar del usuario.

Así también, los resultados obtenidos permiten conocer las alternativas más viables y saber que las estrategias que sean formuladas deberán ir encaminadas de acuerdo a estos escenarios y continuar los procesos.

## CAPÍTULO IV

---

### SIMULACIÓN ENERGÉTICA E INTERRELACIÓN DE FACTORES

## CAPÍTULO IV

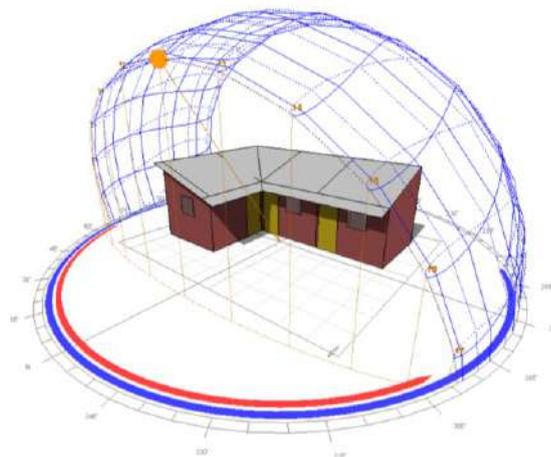
### SIMULACIÓN ENERGÉTICA E INTERRELACIÓN DE FACTORES

Los avances en el sector de la informática y la programación han permitido el perfeccionamiento de software específicos para desarrollar diferentes fases de una simulación energética, facilitando de este modo el estudio y optimización de los requerimientos de climatización de los edificios.

Existen gran número de programas orientados a la simulación energética de los edificios y que nos ayudan desde las fases de pre-diseño a optimizar la orientación y forma del edificio, para que los requerimientos de climatización sean los mínimos posibles. Esto representa un gran avance en el diseño de edificios.

En el contexto en el que se encuentra la sociedad actual más concientizada de la importancia de un uso eficiente de la energía, consecuencia del “problema energético” en el que nos hemos visto sumergidos en los últimos años (creciente dependencia energética, mix energético actual, energía VS medioambiente...), el estudio desde las fases de pre-diseño del funcionamiento a nivel térmico y energético en general de los edificios, es fundamental y para ello es necesario el uso de software específico.

Para la simulación de la vivienda se ha utilizado el software de análisis energético Autodesk Ecotect 2010.



**Gráfico 5-1.** MODELO DE VIVIENDA RURAL ECOTECT 2010 DE AUTODESK.

(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)

#### IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO EN ECOTECT.

En el presente capítulo, se desarrolla la implementación del modelo del estado actual de la vivienda rural en Autodesk Ecotect 2010, para conseguir la máxima disminución de la demanda energética.

## 5.1 DATOS DE PARTIDA PARA CÁLCULO DE DEMANDA ENERGÉTICA

En este apartado, utilizaremos el diagrama psicrométrico de Givoni, para determinar los parámetros de la calidad del aire y confort térmico.

Las condiciones de confort no están establecidas en la normativa peruana, por lo tanto, para el estudio utilizaremos las condiciones de confort térmico según California Energy Code Comfort Model , 2013 del Software **CLIMATE CONSULTANT** y la norma **UNE-EN ISO 7730**.

**Tabla 5-1.** CONDICIONES DE CONFORT

VARIABLE	
18.0 C°	Temperatura mínima de confort de bulbo seco
26.0 C°	Temperatura máxima de confort de bulbo seco, hasta 60% de humedad relativa
80.0 C°	Máxima Humedad Relativa
18.9 %	Temperatura máxima de bulbo húmedo
-2.8 C°	Temperatura mínima de punto de rocío.

Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT

Para conocer la idoneidad de las estrategias y reducir la demanda de energía, es fundamental identificar los periodos calurosos y fríos. El mes más caluroso del año es noviembre que tiene 12.6°C de temperatura promedio y julio tiene la temperatura promedio más baja del año, 8.9°C.

DEPARTAMENTO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Temperatura promedia máx. en C°	18.5	18.0	8.4	18.9	18.7	18.5	18.1	19.3	19.2	20.3	20.0	18.8
Temperatura promedia mín. en C°	5.8	5.9	5.7	4.2	2.0	-0.2	-0.3	0.6	3.4	4.7	5.2	5.6
Humedad relativa %	67	68	69	67	62	55	57	60	61	59	62	62

Fuente: (SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU, 2017)

En este estudio nos vamos a concentrar en los meses de las temperaturas más bajas, en este caso, los meses de invierno (junio, julio, agosto y septiembre), porque según las condiciones climáticas exteriores aun tratándose de los meses más calurosos es mayor la demanda de calefacción que de refrigeración (**Gráfico 5-2**).

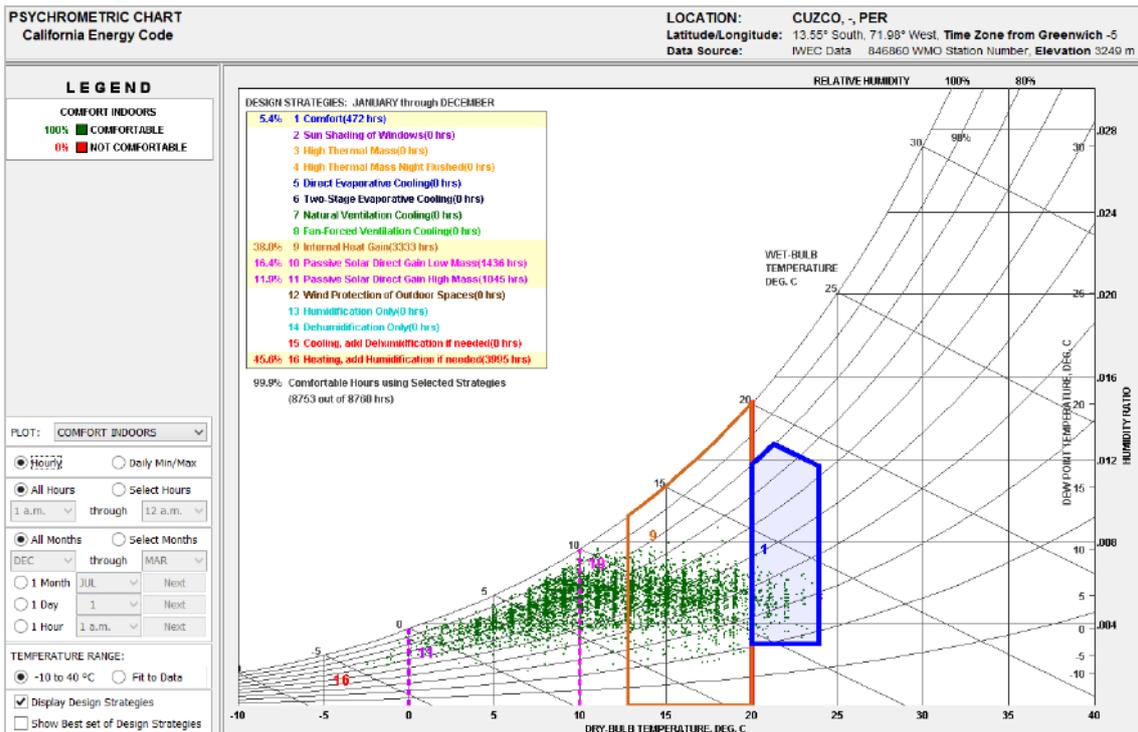


Gráfico 5-2. EL DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE GIVONI PARA LA ZONA MESOANDINA  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)

En el diagrama de Givoni vemos que las temperaturas de todos los meses del año se concentran por debajo de los 20°C y solo el 5.4% alcanzan la zona de confort térmico.

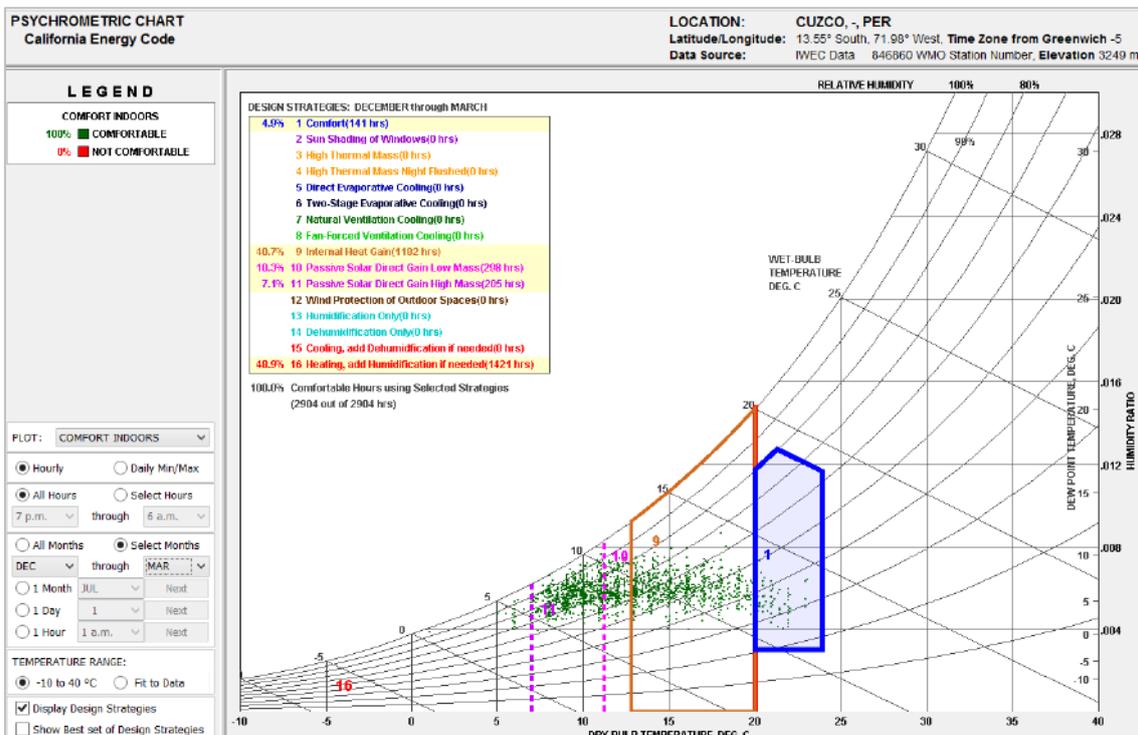
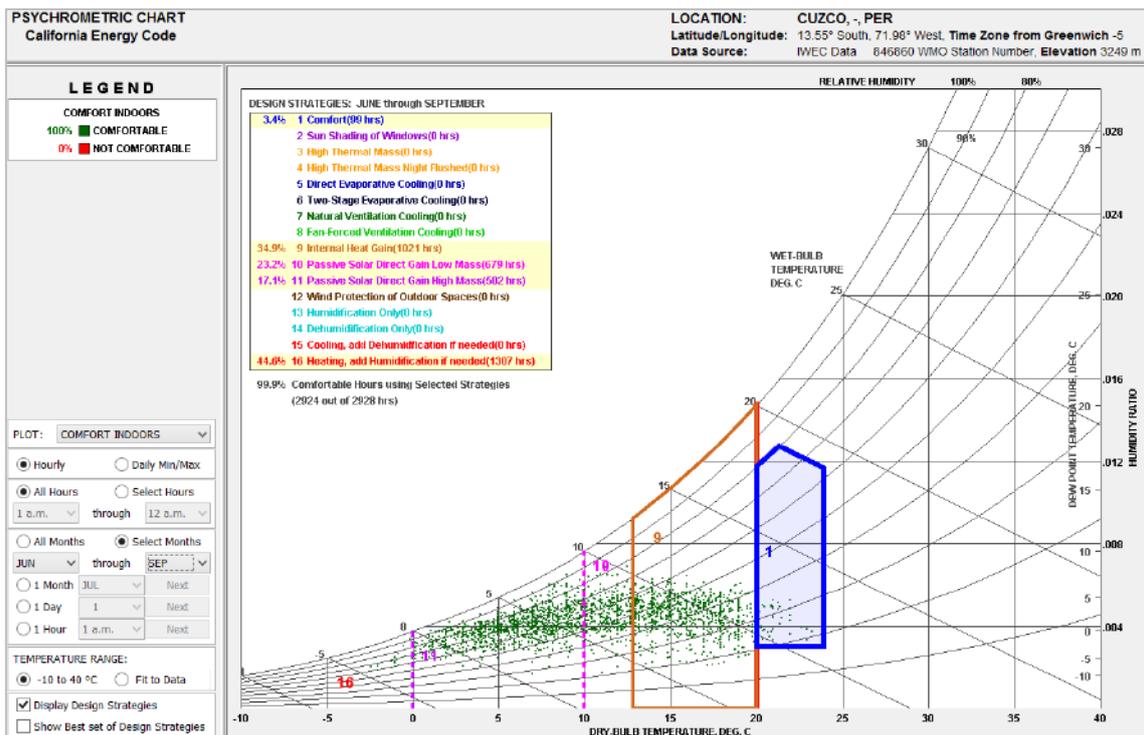


Gráfico 5-3. EL DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE GIVONI PARA LA ZONA MESOANDINA EN VERANO  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)



**Gráfico 5-4.** EL DIAGRAMA PSICOMÉTRICO DE GIVONI PARA LA ZONA MESOANDINA EN INVIERNO  
(Fuente: Software CLIMATE CONSULTANT)

Las condiciones de temperatura son bastante desfavorables, por ende, los requerimientos de calefacción son muy altos, en el **Gráfico 5-3** y **Gráfico 5-4** se observa que durante todo el año es necesario el empleo de calefacción convencional, además de calefacción solar pasiva.

*[NOTA: En términos generales según el diagrama psicrométrico las estrategias de calefacción para las viviendas ubicadas en esta zona bioclimáticas deberían ser: Calefacción convencional + Calefacción solar activa + Calefacción solar pasiva].*

## 5.2 CASO INICIAL - DEFINICIÓN DE SITUACIÓN DE PARTIDA

### 5.2.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS ORIGINALES DE VIVIENDA RURAL

Por las características rurales de uso de suelo, de acuerdo al ítem **2.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA VRP**, se tratará de una edificación exenta, significa que no colinda con ningún edificio.

Desde el punto de vista de la iluminación y de su calefacción, mediante radiación solar directa y para lograr el máximo aprovechamiento del sol, la fachada de mayor longitud debe estar orientada al norte (**Gráfico 3-14**), porque el sol incide durante todo el día y de manera directa en casi todas las estaciones del año menos en verano, donde incide en las horas centrales del

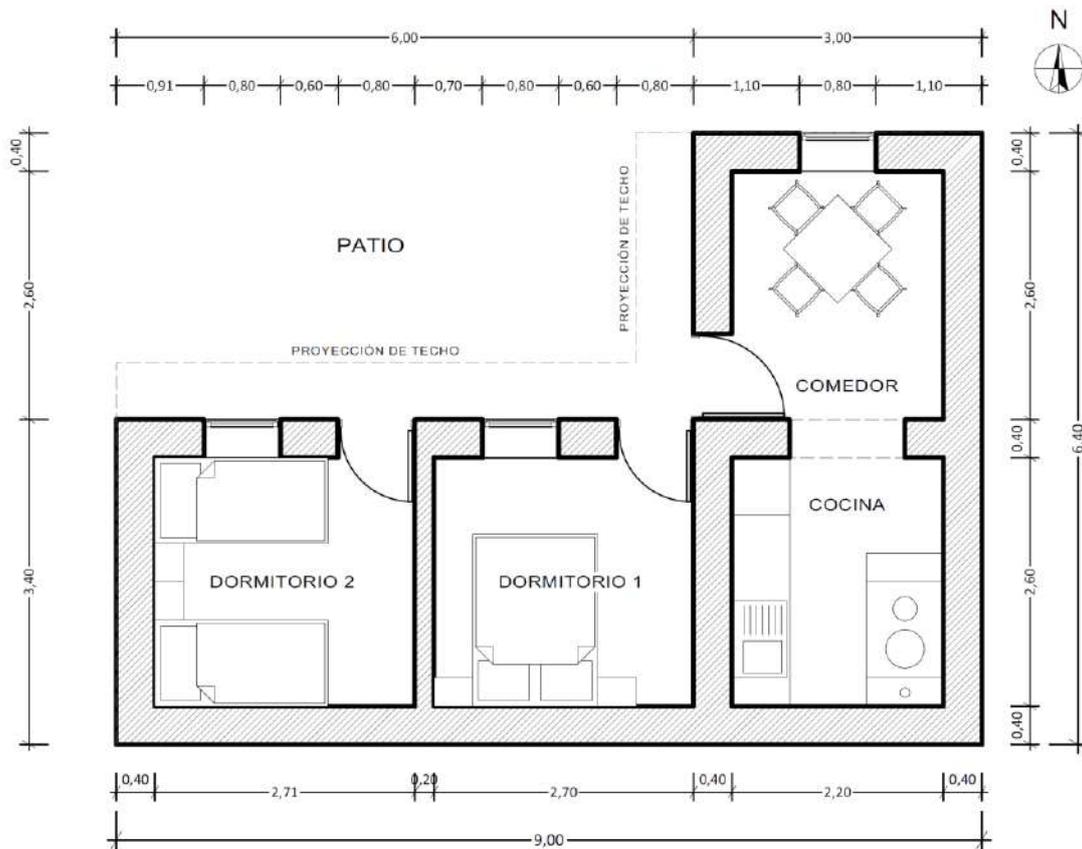
día. En ese sentido, la buena orientación respecto al sol y el buen aislamiento térmico debe representar una diferencia sustancial en el uso de la vivienda.

La vivienda analizada será un módulo básico que cumpla con las necesidades y los requerimientos de los usuarios, por consiguiente, los espacios asignados serán los siguientes:

- Una zona de día, formada por una cocina y comedor para 4 personas (Tamaño de familia promedio).
- Una zona de noche, formada por 2 dormitorios para 2 personas cada uno.

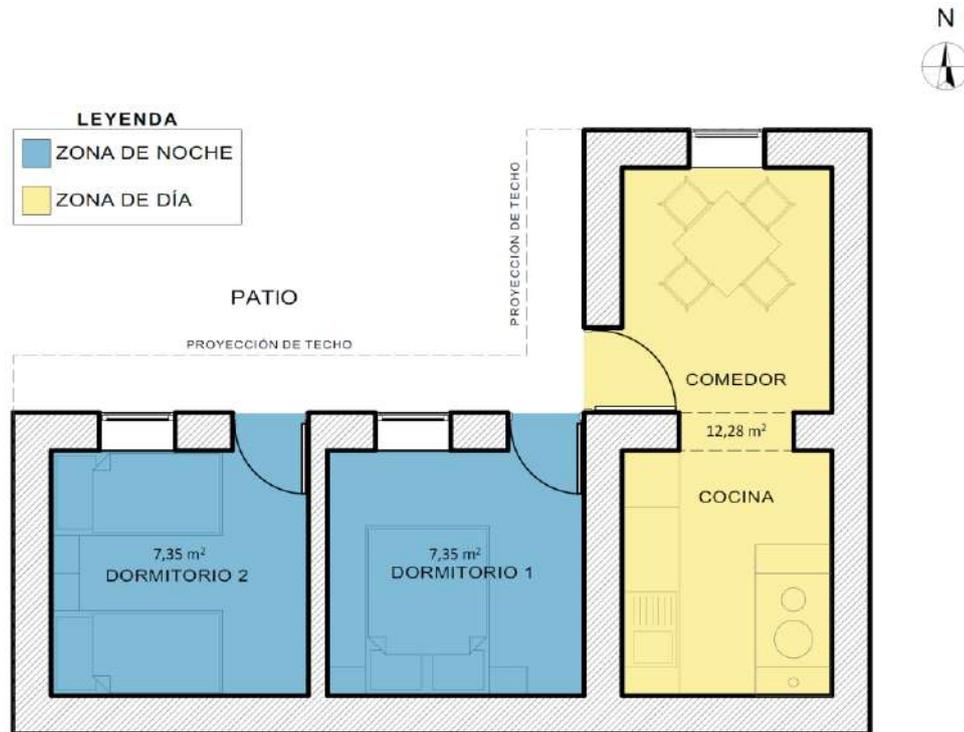
### 5.2.1.1 DISTRIBUCIÓN DE LA VIVIENDA

La distribución se hará de tal manera que el salón quede orientado de este a norte con el fin de aprovechar el calentamiento por radiación solar directa por la mañana. Y que la zona de los dormitorios quede orientada entre la zona norte y oeste, porque el sol incide desde el mediodía hasta el atardecer. A continuación, mostramos el esquema de distribución del módulo básico de la vivienda rural que será estudiada:



**Gráfico 5-5.** PLANO DE MÓDULO BÁSICO PROPUESTO PARA LA SIMULACIÓN DE DATOS EN UNA VIVIENDA RURAL  
(Fuente: Elaboración propia)

El módulo propuesto está representado por 02 zonas, la zona noche y la zona de día.



**Gráfico 5-6.** ZONIFICACIÓN DE MÓDULO BÁSICO DE VIVIENDA RURAL  
(Fuente: Elaboración propia)

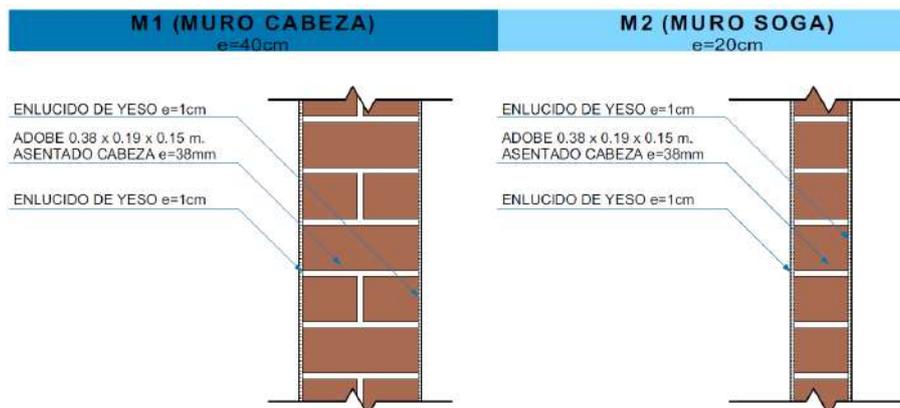
[NOTA: Los planos se encuentra detallados en el ANEXO - PLANOS].

### 5.2.1.2 CARACTERÍSTICAS ORIGINALES DE LA ENVOLVENTE

#### 5.2.1.2.1 CERRAMIENTOS

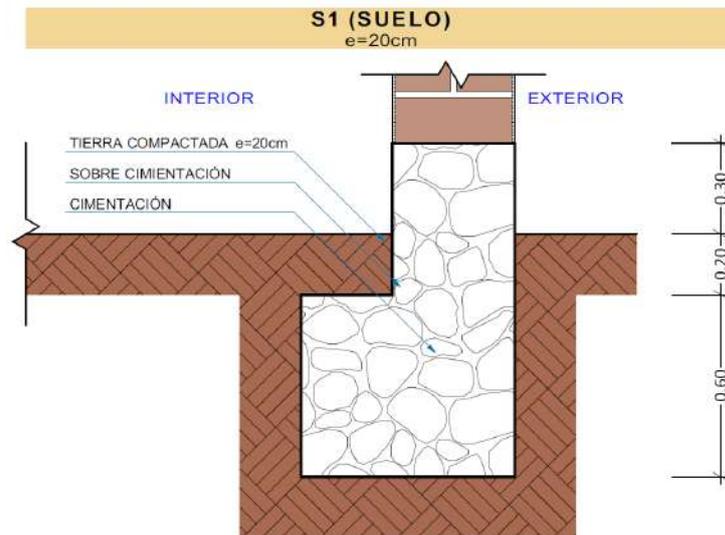
A continuación, desarrollaremos las características de la composición actual de los cerramientos.

#### 5.2.1.2.2 MUROS



**Gráfico 5-7.** CARACTERÍSTICA ORIGINAL DE MUROS  
(Fuente: Elaboración propia)

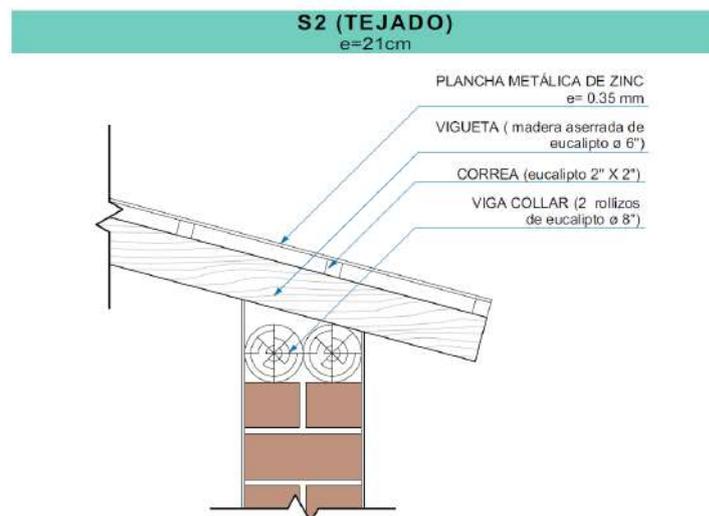
### 5.2.1.2.3 SUELO



**Gráfico 5-8.** CARACTERÍSTICA ORIGINAL DE SUELO  
(Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.1.2.4 CUBIERTA

En la bibliografía revisada se observa que tradicionalmente se utiliza la plancha metálica de zinc (calaminas) para el tejado, debido a su bajo costo y peso liviano. Sin embargo, por sus características constructivas, este material facilita el flujo de calor del exterior al interior (en el día) e inversamente (en la noche).



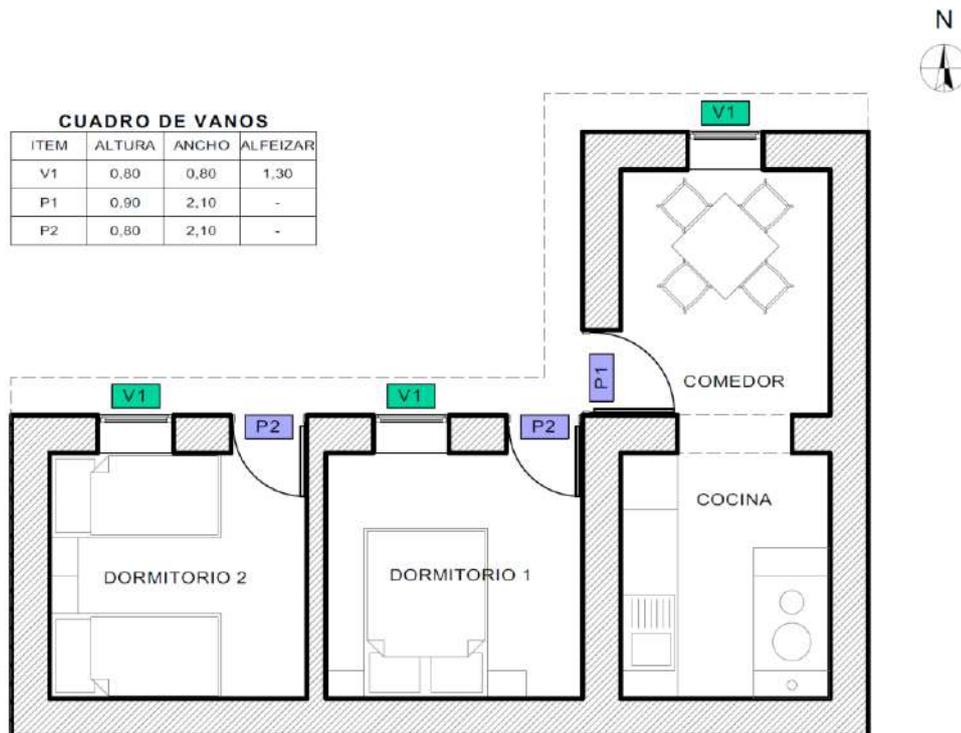
**Gráfico 5-9.** CARACTERÍSTICA ORIGINAL DE TEJADO  
(Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.1.2.5 CARPINTERÍA

**Tabla 5-2.** DESCRIPCIÓN DE CARPINTERÍA ORIGINAL

TIPO	DESCRIPCIÓN
V1	Ventana abatible con vidrio simple e=6mm, carpintería de madera.
P1; P2	Puerta batiente contraplacada.

Fuente: Elaboración propia



**Gráfico 5-10.** CARACTERÍSTICA ORIGINAL DE CARPINTERÍA

(Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.1.3 COEFICIENTES DE TRANSMITANCIA DE LOS CERRAMIENTOS [U (W/m<sup>2</sup>k)]

Para continuar con el procedimiento de cálculo, en el software ECOTECT se puede obtener los valores de coeficiente de trasmisión de calor, que determina el flujo de calor por unidad de tiempo que atraviesa una superficie cuando se establece entre ambas caras una diferencia de temperatura de un grado.

**Tabla 5-3.** TABLA RESUMEN DE COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA VIVIENDA RURAL

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	U (W/m <sup>2</sup> K)
M1	Cerramiento exterior (adobe asentado tipo cabeza e=40 cm)	1.75
M2	Partición Interior (adobe asentado tipo sogá e=20 cm)	2.58

<b>S1</b>	Suelo en contacto directo con el terreno	3.21
<b>S2</b>	Tejado	5.62
<b>V1</b>	Vidrio simple e=6 mm con marco de madera	5.10
<b>P1; P2</b>	Puerta contraplacada con marco de madera	2.50

Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010

[NOTA: en el ANEXO - COEFICIENTES DE TRASMISIÓN, se adjunta el desarrollo la tabla de conductividades de los materiales, definido en el programa ECOTECT].

## 5.2.2 OCUPACIÓN

La ocupación viene a ser la cantidad de personas que puede haber como máximo en un local; en este caso para mejorar la sensación de confort térmico se considera dos zonas, las que están definidas en el ítem **5.2.1.1 DISTRIBUCIÓN DE LA VIVIENDA**.

**Tabla 5-4.** DENSIDADES DE OCUPACIÓN EN LA VIVIENDA RURAL

PLANTA	ZONA	LOCAL	OCUPACIÓN (Personas)
PLANTA BAJA	ZONA DÍA	Comedor	4
		Cocina	
	ZONA NOCHE	Dormitorio 1	2
		Dormitorio 2	2

Fuente: Elaboración propia.

## 5.2.3 HORARIOS DE FUNCIONAMIENTO

### 5.2.3.1 HORARIOS

El horario de funcionamiento será designado para cada espacio de la vivienda, porque esto depende única y exclusivamente de los horarios de actividades que se realizan dentro de este. Para calcular la demanda térmica, el software Autodesk Ecotect permite definir los horarios según el uso de la zona térmica.

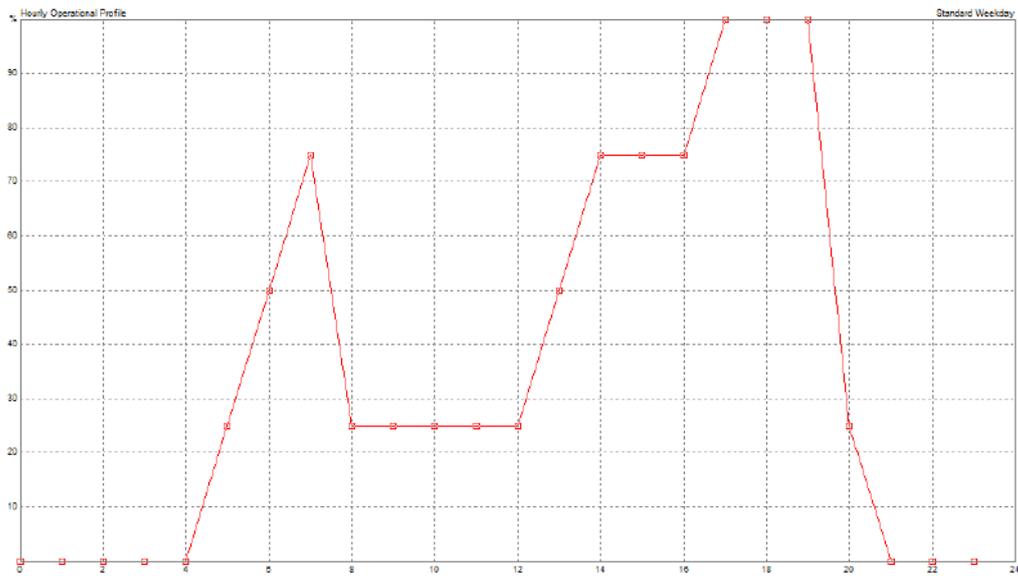
#### Semana estándar

- Zona de día: de 5 a.m. a 21 p.m.
- Zona de noche: de 20 p.m. a 8 a.m.

**Tabla 5-5.** PORCENTAJE DE USO DE LOCALES DE LUNES A VIERNES

LOCAL	HORA SOLAR - % USO																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Zona día	-	-	-	-	25	50	75	25	25	25	25	25	50	75	75	75	100	100	100	25	-	-	-	-
Zona noche	100	100	100	100	75	50	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	100	100	100	100

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 5-11.** PORCENTAJE DE USO DE LA ZONA DE DÍA EN UNA SEMANA ESTÁNDAR  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)



**Gráfico 5-12.** PORCENTAJE DE USO DE LA ZONA DE NOCHE EN UNA SEMANA ESTÁNDAR  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

**Fin de semana**

- Zona de día: de 6 a.m. a 22 p.m.
- Zona de noche: de 19 p.m. a 8 a.m.

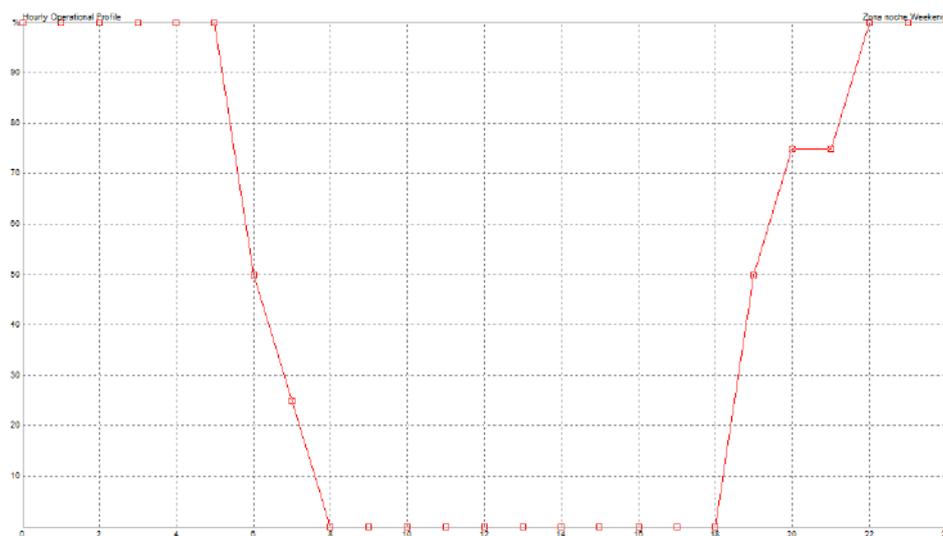
**Tabla 5-6.** PORCENTAJE DE USO DE LOCALES SÁBADO Y DOMINGO

LOCAL	HORA SOLAR - % USO																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Zona día	-	-	-	-	-	50	75	100	50	50	50	50	50	75	75	75	100	100	50	25	25	-	-	-
Zona noche	100	100	100	100	100	50	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	75	75	100	100	100

Fuente: Elaboración propia.



**Gráfico 5-13.** PORCENTAJE DE USO DE LA ZONA DE DÍA EN UN FIN DE SEMANA  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)



**Gráfico 5-14.** PORCENTAJE DE USO DE LA ZONA DE NOCHE EN UN FIN DE SEMANA  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

#### 5.2.4 CÁLCULO DE CARGAS TÉRMICAS PARA CALEFACCIÓN (INVIERNO)

En el presente apartado determinaremos la cantidad de calor necesario que se tiene que aportar en cada uno de los locales para mantener las condiciones de confort señaladas en la **Tabla 5-1. CONDICIONES DE CONFORT.**

El software de simulación utilizado, nos permite conocer las pérdidas y ganancias procedentes de la convección, conducción y radiación de los cerramientos. Así mismo nos permite introducir las cargas internas derivadas de la ocupación, iluminación y equipos.

Para la demanda de las condiciones de calefacción se prevé la existencia de las cargas térmicas sensibles, provenientes de la diferencia de temperatura y la radiación térmica, y las cargas latentes provenientes de la aportación de humedad al aire.

#### 5.2.4.1 CARGAS SENSIBLES

Ganancia cargas sensible: 5 W/m<sup>2</sup>

Es aquel que recibe un cuerpo y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado físico.

##### 5.2.4.1.1 GANANCIA SOLAR A TRAVÉS DEL CRISTAL

La ganancia de carga a través de los cristales viene determinada por la orientación geográfica y la hora del día analizado.

$$Q(W) = K_{rad} \times S_{rad} \times F_{rad}$$

Q = carga térmica por transmisión [W].

K = coeficiente de aportación solar [W/ m<sup>2</sup>]

S = superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas [m<sup>2</sup>].

F<sub>rad</sub> = factor solar del vidrio.

El factor solar del vidrio dependerá del tipo de vidrio utilizado, así como de los elementos añadidos como por ejemplo una persiana.

**Tabla 5-7.** COEFICIENTE DE FACTOR SOLAR DE LOS VIDRIOS UTILIZADOS EN LA VIVIENDA

TIPO DE VIDRIO	F <sub>rad</sub>	DESCRIPCIÓN
Vidrio simple	0,85	Utilizados en las ventanas originales en los muros con orientación norte y este.
Vidrio doble	0,76	Utilizados en las ventanas modificadas en los muros con orientación sur y oeste.

Fuente: Elaboración propia.

##### 5.2.4.1.2 GANANCIA POR LOS CERRAMIENTOS.

La ganancia de carga a través de los muros por transmisión se calcula de la siguiente manera:

$$Q(W) = K \times S \times DTE$$

Q = carga térmica por transmisión [W].

K = coeficiente global de transmisión de calor del muro [W/ m<sup>2</sup> °C] (Véase ítem 5.2.1.3).

S = superficie considerada [m<sup>2</sup>].

DTE es la diferencia de temperaturas equivalente [°C].

La diferencia de temperatura equivalente es un concepto definido como la diferencia entre las temperaturas del aire interior y exterior que resulta del flujo calorífico total a través de la estructura, originada por la radiación solar variable y la temperatura exterior. Para esto, se tiene en cuenta el tipo de muro, la orientación y las condiciones geográficas del proyecto.

#### 5.2.4.1.3 OCUPACIÓN DEL LOCAL (Véase **Tabla 5-4**)

Esta carga se establece multiplicando el calor sensible emitido por el tipo de ocupante asignado por el número de ocupantes previstos para el local.

#### 5.2.4.1.4 LA ILUMINACIÓN

Se considerará que la potencia de las luminarias se transformará en calor sensible (300 lux).

#### 5.2.4.1.5 EQUIPOS

Potencia de equipos existentes en el local (Frac. Rad. =  $0,1 \text{ W/m}^2$ ).

#### 5.2.4.1.6 VENTILACIÓN O INFILTRACIÓN DE AIRE EXTERIOR

Para los cálculos de este apartado se deja el volumen de aire exterior de ventilación que está definido por defecto en el software.

- Renovación De Aire: 0.50 a.c.h.
- Sensibilidad del viento: 0.25 a.c.h.

#### 5.2.4.2 CARGAS LATENTES

Ganancia cargas latentes:  **$2.5 \text{ W/m}^2$**

Esta carga resulta de la multiplicación del calor latente emitido por el tipo de ocupante asignado por el número de ocupantes previstos para el local. La cantidad de calor emitido por persona depende del tipo de actividad que esté realizando.

#### 5.2.4.2.1 VENTILACIÓN O INFILTRACIÓN DE AIRE EXTERIOR (Véase ítem **5.2.4.1.6**)

#### 5.2.4.3 COEFICIENTES DE SEGURIDAD

Es un factor multiplicador que aumenta las cargas un 5% para tener en consideración posibles variaciones no contempladas en el sistema.

#### 5.2.4.4 CARGA TÉRMICA PARA CALEFACCIÓN

Para llevar a cabo los cálculos que acabamos de describir emplearemos el Software Autodesk Ecotect 2010 de simulación de cargas térmicas de aire acondicionado en la que los parámetros

introducidos independientemente de las características del local son todos aquellos que estudiamos en el ítem 5.2.1.2 del presente trabajo.

**Gráfico 5-15.** CONDICIONES GENERALES PARA CÁLCULO DE CARGAS  
TÉRMICAS PARA LA ZONA DÍA  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

**Gráfico 5-16.** CONDICIONES GENERALES PARA CÁLCULO DE CARGAS  
TÉRMICAS PARA LA ZONA NOCHE  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

## 5.2.5 ZONAS TÉRMICAS

Las zonas térmicas se encuentran definidas en el ítem **5.2.1.1**, estas permiten definir los parámetros del equipo de climatización, en la pestaña de THERMAL PROPERTIES, en el ZONE MANAGEMENT:

The screenshot shows the 'ZONA DIA' configuration window. It includes tabs for 'General Settings', 'Thermal Properties', and 'Information'. The 'HEATING, VENTILATION & AIR CONDITIONING (HVAC)' section is expanded, showing 'Active System(s)' set to 'Mixed-Mode System' with 100.0% efficiency. The 'Thermostat Range' is set to 18.0 C (Lower Band) and 26.0 C (Upper Band). The 'UK PART L - SBEM PROFILE' section has an empty dropdown. The 'HOURS OF OPERATION' section shows 'Weekdays' from 05:00 to 21:00 and 'Weekends' from 06:00 to 22:00. The 'Operational Schedule' is set to '[No Schedule]'.

**Gráfico 5-17.** PROPIEDADES DE CONFORT TÉRMICO PARA LA ZONA DÍA

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

The screenshot shows the 'ZONA NOCHE' configuration window. It includes tabs for 'General Settings', 'Thermal Properties', and 'Information'. The 'HEATING, VENTILATION & AIR CONDITIONING (HVAC)' section is expanded, showing 'Active System(s)' set to 'Mixed-Mode System' with 100.0% efficiency. The 'Thermostat Range' is set to 18.0 C (Lower Band) and 26.0 C (Upper Band). The 'UK PART L - SBEM PROFILE' section has an empty dropdown. The 'HOURS OF OPERATION' section shows 'Weekdays' from 20:00 to 08:00 and 'Weekends' from 19:00 to 08:00. The 'Operational Schedule' is set to '[No Schedule]'.

**Gráfico 5-18.** PROPIEDADES DE CONFORT TÉRMICO PARA LA ZONA NOCHE

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Para el proceso de simulación, en la pestaña TYPE OF SYSTEM, se eligió el equipo MIXED-MODE SISTEMA, porque este sistema tiene en cuenta la ventilación natural, cuando las condiciones exteriores son favorables. En la eficiencia del equipo se pone 100%, con la finalidad de que los datos de consumo obtenidos sean igual a las demandas requeridas.

### 5.3 RESULTADO INICIAL - DEMANDA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA EN SU ESTADO ORIGINAL

Una vez conseguido el ajuste del modelo del módulo experimental de vivienda rural en el software de simulación, éste permitió determinar la demanda de climatización en las condiciones actuales.

Para calcular la demanda de climatización, la temperatura límite por debajo de la cual tendremos que climatizar se fijó en 18°C y la temperatura límite por encima de la cual tendremos que climatizar se fijó en 26°C.

**Tabla 5-8.** RESULTADO INICIAL - DEMANDA DE ENERGÍA CON CARACTERÍSTICAS ORIGINALES DE LA VRP

ZONAS TÉRMICAS	TOTAL			Por m <sup>2</sup>
	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh)	DEMANDA REFRIGERACIÓN (kWh)	TOTAL (kWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (kWh/m <sup>2</sup> )
ZONA DÍA	1829,23	-	1829,23	101,62
ZONA NOCHE	5113,98	-	5113,98	284,11
<b>Total</b>	<b>6943,20</b>	-	<b>6943,20</b>	<b>192,87</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Los resultados de la **Tabla 5-8** se reflejan en el **Gráfico 5-19**.

La **Tabla 5-9** de desglose de ganancias pasivas nos ayuda a entender qué porcentaje de ganancias y pérdidas provienen de la conducción, radiación solar, infiltración y cargas internas (Véase **Gráfico 5-20**).

**Tabla 5-9.** GANANCIAS PASIVAS PROMEDIO ANUAL DE LA VRP CON CARACTERÍSTICAS ORIGINALES

CATEGORÍA	PERDIDAS	GANANCIAS
Conducción/convección	80.8%	-
Temperatura Sol-aire	-	77.9%
Radiación solar directa	-	4.2%
Infiltración de aire	9.0%	-
Cargas Internas	-	17.8%
Flujo de energías inter-zonal	10.3%	-

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

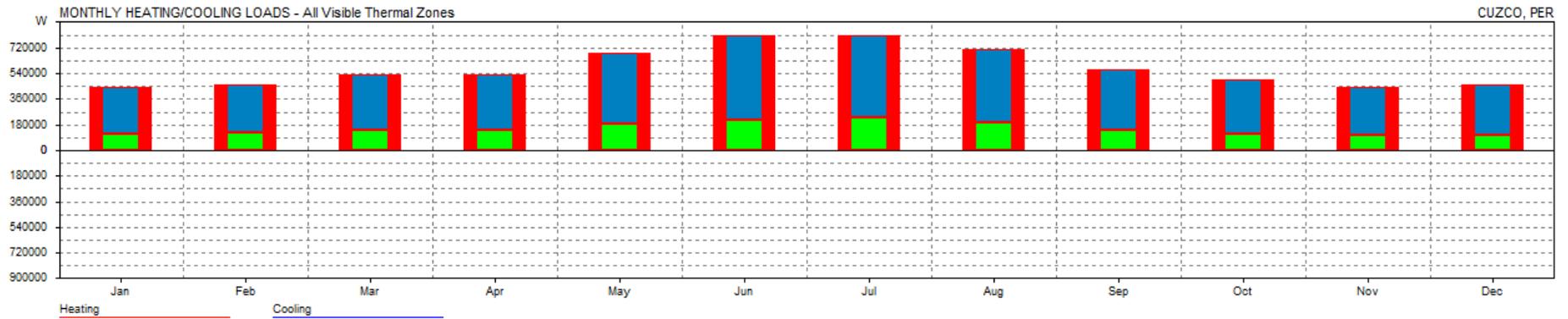


Gráfico 5-19. DEMANDA DE CALEFACCIÓN INICIAL, SIN MEJORAS.

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

- LEYENDA:**
- DEMANDA REQUERIDA PARA LA ZONA NOCHE
  - DEMANDA REQUERIDA PARA LA ZONA DÍA
  - DEMANDA TOTAL REQUERIDA

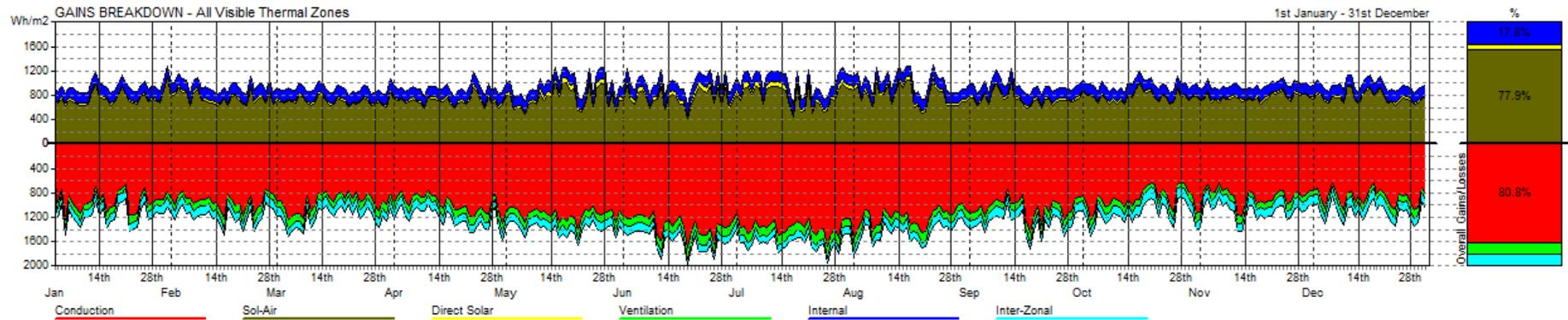


Gráfico 5-20. GANANCIAS PASIVAS INICIALES

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

### 5.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- De acuerdo a los cálculos realizados para conocer las condiciones de confort térmico de la vivienda rural, llegamos a la conclusión de que solo existe requerimientos de calefacción y los requerimientos de refrigeración son nulos.
- De los resultados obtenidos comprobamos que las pérdidas de calor son consecuencia fundamentalmente de la falta de aislamiento de la vivienda, lo que significa, que los materiales utilizados actualmente no son muy ventajosos para mantener el calor generado por las cargas térmicas sensibles, provenientes de la diferencia de temperatura y la radiación térmica, y las cargas latentes provenientes de la aportación de humedad al aire.

# CAPÍTULO V

---

## ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA

## CAPÍTULO V

### ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN DE ENERGÍA

En este capítulo vamos a simular una serie de modificaciones sobre el modelo con el fin de disminuir la demanda de calefacción de la vivienda objeto de estudio.

El objetivo que se quiere alcanzar, como se expuso al inicio de este documento es establecer estrategias de eficiencia energética para la aplicación en el diseño de la VRP en el marco del estándar Passivhaus, por lo tanto, como mínimo se debe cumplir con el límite de demanda establecida por este 15kWh/m<sup>2</sup>/año (Véase ítem **2.1.3**). Una vez llegado a este punto, trataremos de continuar proponiendo mejoras para conseguir aproximarnos a consumo cero.

*[NOTA: No se realizará el análisis económico de las mejoras a implementar, puesto que, el objetivo es aproximarnos a conseguir consumo energético 0].*

Las medidas que podrían implementarse, las podemos clasificar en:

- **PASIVAS:**
  - Aislamiento.
  - Superficie de ventanas a Norte.
  - Invernadero adosado
- **ACTIVAS:**
  - Recuperador.
  - Sobreventilación controlada

*[NOTA: Estas dos últimas medidas serán evaluadas, puesto que, las implementaciones de estos sistemas tienen costes elevados].*

En vista de que, en el capítulo precedente ya tenemos definida la situación de partida, en este capítulo procederemos del siguiente modo:

- 1) Optimización previa de la demanda de calefacción.
- 2) Análisis de mejoras adicionales. Objetivo consumo 0.
- 3) ÓPTIMO FINAL.

## 6.1 OPTIMIZACIÓN PREVIA DEMANDA DE CALEFACCIÓN.

Para iniciar el proceso de optimización de energía, primero realizamos pruebas y análisis de las diferentes características y propiedades de los materiales que configuran los cerramientos y como resultado se llegó a la conclusión de que debíamos mejorar la configuración del suelo y de la cubierta. Tras las simulaciones energéticas se optó por los materiales que tienen los coeficientes más bajos de transmitancias térmicas.

### 6.1.1 CASO 1 – MEJORA DE LAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS DE LOS CERRAMIENTOS

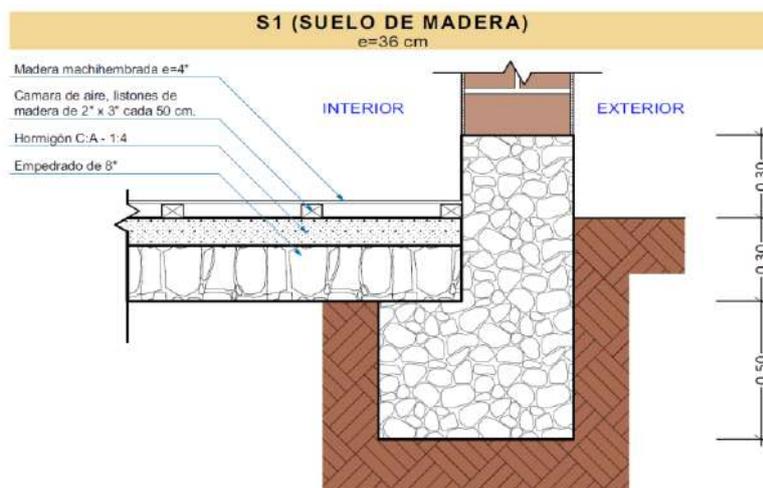
A continuación, desarrollaremos las características de la propuesta de mejora para los cerramientos.

#### 6.1.1.1 MUROS

Los muros continúan siendo de adobe (Véase ítem 5.2.1.2.2), porque este material es más accesible para los usuarios de la VRP y puede fabricarse de manera manual sin mucha complicación y con bajo coste; así también, el adobe es un buen aislante térmico.

#### 6.1.1.2 SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO

De acuerdo a las características desarrolladas en el ítem 5.2.1.2.3, el suelo de la VRP es de tierra compactada; sin embargo, la conductividad térmica de este material es muy alta, lo que origina que la temperatura de la superficie de los recintos sea menor. Por lo tanto, para mejorar estas características se propone un suelo de madera machihembrada que se encuentra sobre una estructura de madera de 2" x 3" colocadas cada 50cm, esta a su vez se encuentran sobre una losa de hormigón y una cama piedra de 8".

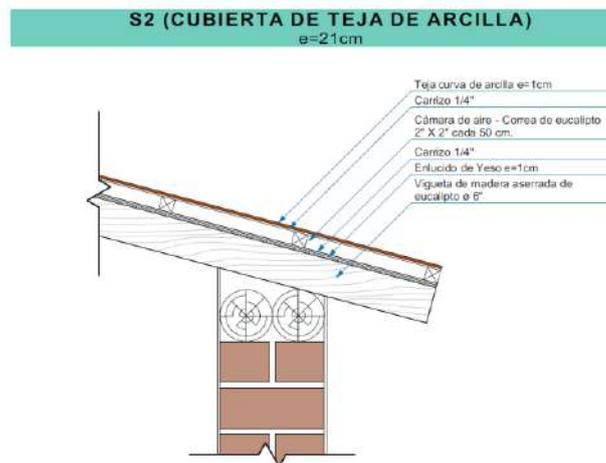


**Gráfico 6-1.** CARACTERÍSTICA MEJORADA DEL SUELO  
(Fuente: Elaboración propia)

### 6.1.1.3 CUBIERTA

Debido a la alta conductividad térmica de la plancha de zinc y el espesor mínimo de este, las pérdidas de calor interior por conducción generalmente se dan en horas de la noche. Así también, las juntas mal resueltas entre el techo y los muros, representan otro punto crítico de escape del calor por infiltración excesiva y descontrolada del aire frío exterior.

Con las nuevas características planteadas se busca mejorar las condiciones térmicas del interior de la vivienda, con el fin de reducir la pérdida de calor por conducción a través del cerramiento de la cubierta, se reemplazará la plancha de zinc por teja curva de arcilla; el coeficiente de conductividad de este último es más bajo y de acuerdo a sus características tipológicas es un material característico de la configuración de la VRP.



**Gráfico 6-2.** CARACTERÍSTICA MEJORADA DEL TEJADO  
(Fuente: Elaboración propia)

### 6.1.1.4 COEFICIENTES DE TRANSMITANCIA DE LOS CERRAMIENTOS [U (W/m<sup>2</sup>k)]

Continuando con el procedimiento de cálculo, los nuevos valores de coeficiente de trasmisión de calor de los cerramientos seleccionados, son los siguientes:

**Tabla 6-1.** TABLA RESUMEN DE COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN DE CALOR DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA VIVIENDA RURAL

ITEM	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	U (W/m <sup>2</sup> k)	Normativa Peruana U (W/m <sup>2</sup> k)
M1	Cerramiento exterior (adobe asentado tipo cabeza e=40 cm)	1.75	2,36
M2	Partición Interior (adobe asentado tipo sogá e=20 cm)	2.58	-
S1	Suelo de madera	1.55	2.63
S2	Cubierta	2.52	2.21

Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010

Respecto a la normativa peruana, los coeficientes de transmitancia térmica del muro y el suelo están por debajo de los valores establecidos en esta; sin embargo, el coeficiente de transmitancia de la cubierta aún tiene un valor que se encuentra por encima de los valores exigidos, más adelante con la incorporación de aislamiento intentaremos disminuir este valor.

*[NOTA: en el ANEXO - COEFICIENTES DE TRASMISIÓN, se adjunta el desarrollo la tabla de conductividades de los materiales, definido en el programa ECOTECT].*

#### 6.1.1.5 DEMANDA DE ENERGÍA DE LA VIVIENDA, CON CARACTERÍSTICAS MEJORADAS DE LOS CERRAMIENTOS

Una vez perfeccionado el ajuste con las condiciones mejoradas de los cerramientos del módulo experimental de la VRP, se realizó un nuevo análisis de simulación energética para conocer la demanda energética, en este se obtuvo los resultados de la **Tabla 6-2**.

**Tabla 6-2.** RESULTADO 01 - DEMANDA ENERGÉTICA DE LA VRP CON MATERIALES MEJORADOS

DESCRIPCIÓN		DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )
Características constructivas originales	Zona día	1829,23	101,62
	Zona noche	5113,98	284,11
	<b>Total</b>	<b>6943,20</b>	<b>192,87</b>
Características constructivas mejoradas	Zona día	74,48	4,14
	Zona noche	511,34	28,41
	<b>Total</b>	<b>585,82</b>	<b>16,27</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

A continuación, en la **Tabla 6-3** se muestra el porcentaje de ganancias y pérdidas que provienen de la conducción, radiación solar, infiltración y cargas internas.

**Tabla 6-3.** GANANCIAS PASIVAS PROMEDIO ANUAL CON CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS MEJORADAS

CATEGORÍA	PERDIDAS	GANANCIAS
Conducción/convección	61.8%	-
Temperatura Sol-aire	-	26.4%
Radiación solar directa	-	13.7%
Infiltración de aire	37.3%	-
Cargas Internas	-	59.9%
Flujo de energías inter-zonal	0.9%	-

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

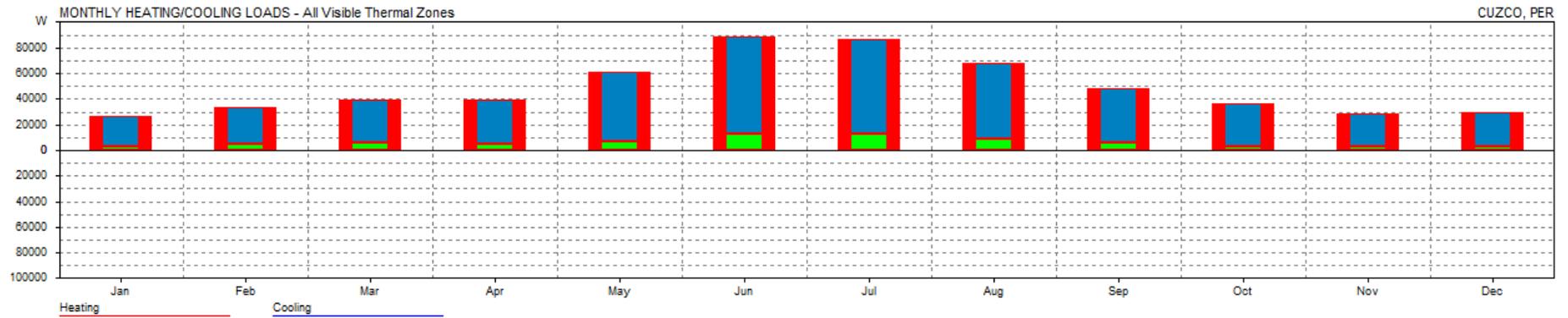


Gráfico 6-3. DEMANDA DE CALEFACCIÓN TOTAL CON MEJORA DE MATERIALES.

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

- LEYENDA:**
- DEMANDA REQUERIDA PARA LA ZONA NOCHE
  - DEMANDA REQUERIDA PARA LA ZONA DÍA
  - DEMANDA TOTAL REQUERIDA

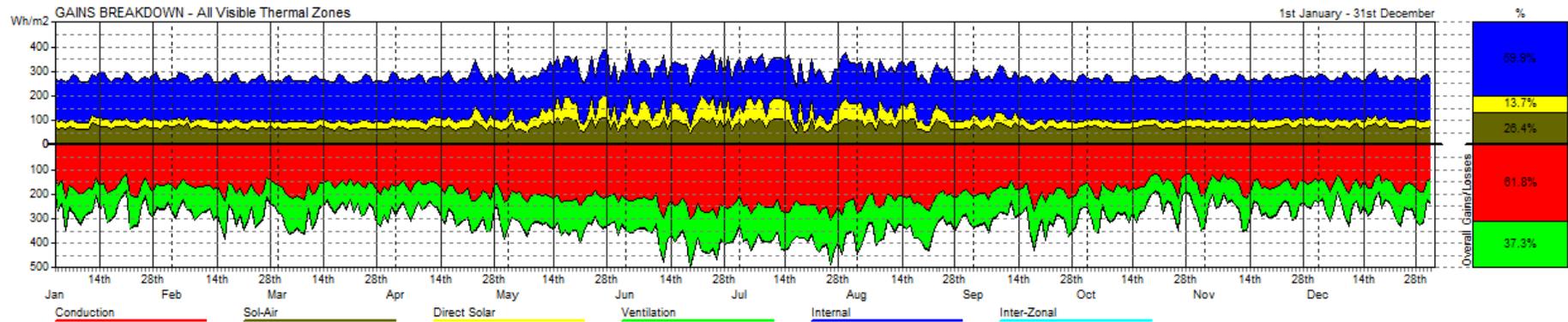
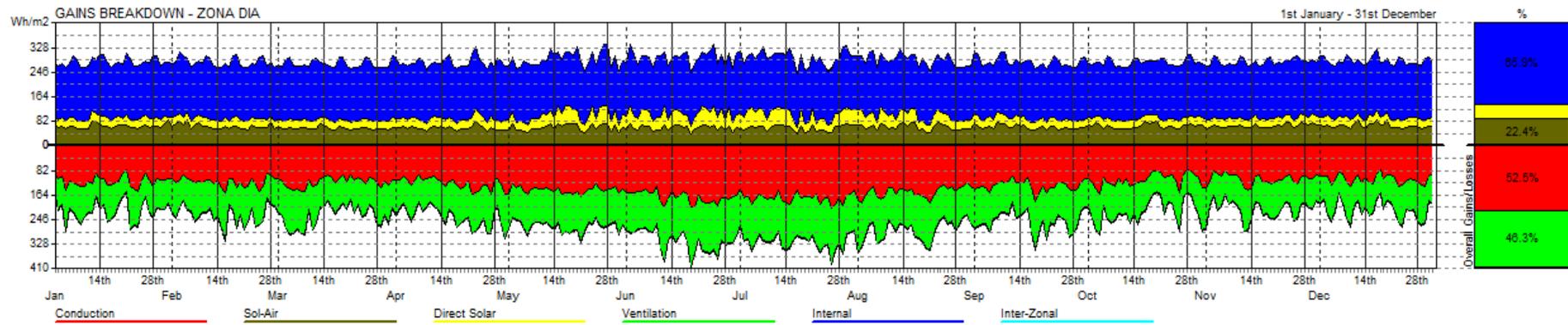
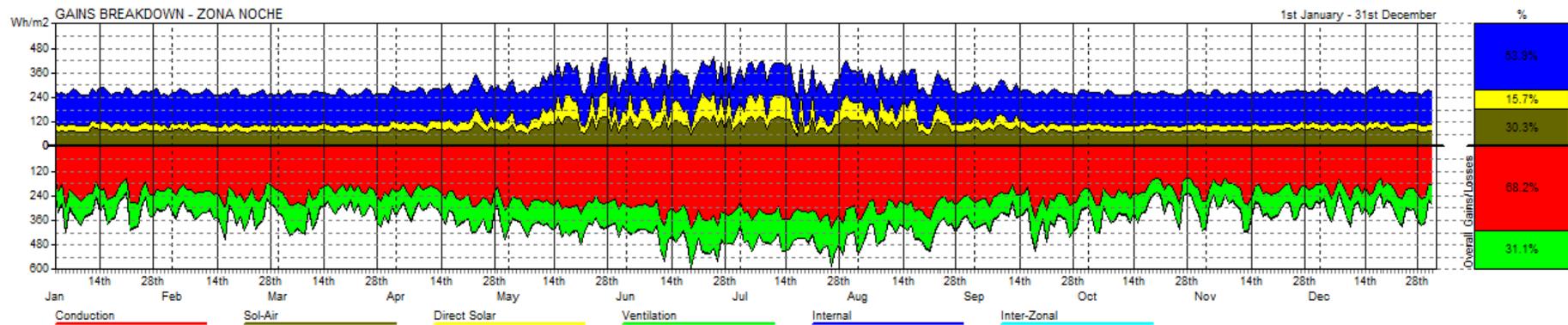


Gráfico 6-4. DESGLOSE DE GANANCIAS PASIVAS CON MEJORAS EN LOS CERRAMIENTOS

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)



**Gráfico 6-5.** DESGLOSE DE GANANCIAS PASIVAS CON MEJORAS EN LOS CERRAMIENTOS, ZONA DÍA  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)



**Gráfico 6-6.** DESGLOSE DE GANANCIAS PASIVAS CON MEJORAS EN LOS CERRAMIENTOS, ZONA NOCHE  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

#### 6.1.1.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En el análisis de la demanda de energía de la vivienda con características mejoradas observamos que los nuevos materiales utilizados para los cerramientos permitieron disminuir significativamente la demanda energética; es así que, la vivienda con características mejoradas permite ahorrar 12 veces el consumo de la energía requerida por la vivienda sin mejoras.
- Los resultados obtenidos permiten consolidar nuestro planteamiento sobre optar por nuevas alternativas constructivas para los cerramientos de la vivienda. Actualmente en el mercado existe una infinidad de materiales que podrían permitir disminuir aún más la demanda energética; sin embargo, en la elaboración del presente trabajo se pretende mantener y mejorar las características originales de la VRP, con la finalidad de este sea accesible para el usuario.
- Respecto a las zonas térmicas es evidente que la pérdida por conducción y/o convección es mayor en horas de la noche, por lo que, se debe implementar mejores medidas de aislamiento para evitar perder el calor conseguido durante el día.

*[NOTA: el proceso de simulación energética de la vivienda se realiza en condiciones de hermeticidad casi completas; esto significa que existen infiltraciones que son mínimas y que están definidas en el software Ecotect].*

A continuación, intentaremos optimizar la demanda de calefacción intentando llegar como mínimo a los límites establecidos por el estándar Passivhaus de 15 kWh/m<sup>2</sup> anuales. Las pruebas que buscan alcanzar este objetivo consistieron en variar los siguientes parámetros:

- 1) Propuesta de mejora de materiales.
- 2) Espesor de aislamiento en cerramientos que conforman la envolvente.
- 3) Material y superficie de vanos a NORTE.

#### 6.1.2 CASO 2 - ESPESOR DE AISLAMIENTO

En las simulaciones realizadas se combinaron simultáneamente los parámetros: espesor del aislamiento de los cerramientos, el suelo y la cubierta.

Para el análisis del espesor de aislamiento, el material aislante elegido es lana de roca que tiene una conductividad de 0.034 W/m<sup>2</sup>K.

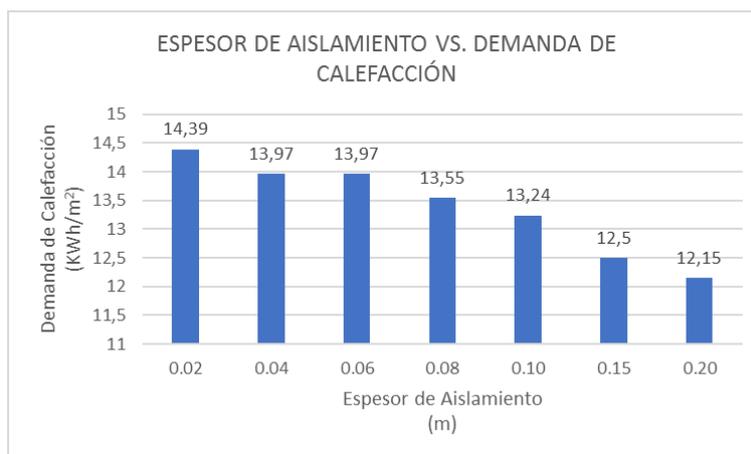
Las opciones de espesores elegidas para el análisis son: 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 m, 0.15m y 0.20m.

**Tabla 6-4.** RESULTADO 02 - DEMANDA ENERGÉTICA CON PRUEBAS CRUZADAS DE ESPESOR DE AISLAMIENTO.

DESCRIPCIÓN		ESPELOR DE AISLAMIENTO m	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )
Aislante lana de roca en muro y suelo.	Zona día	0.02	76,41	4,25
	Zona noche		441,53	24,53
	<b>Total</b>		<b>517,94</b>	<b>14,39</b>
	Zona día	0.04	78,72	4,37
	Zona noche		424,28	23,57
	<b>Total</b>		<b>503,00</b>	<b>13,97</b>
	Zona día	0.06	81,37	4,52
	Zona noche		421,56	23,42
	<b>Total</b>		<b>502,93</b>	<b>13,97</b>
	Zona día	0.08	79,32	4,41
	Zona noche		408,53	22,70
	<b>Total</b>		<b>487,85</b>	<b>13,55</b>
Zona día	0.10	77,81	4,32	
Zona noche		398,93	22,16	
<b>Total</b>		<b>476,74</b>	<b>13,24</b>	
Aislante lana de roca en muro y 10 cm de aislamiento en suelo.	Zona día	0.15	73,73	4,10
	Zona noche		376,43	20,91
	<b>Total</b>		<b>450,16</b>	<b>12,50</b>
	Zona día	0.20	70,85	3,94
	Zona noche		366,51	20,36
	<b>Total</b>		<b>437,36</b>	<b>12,15</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

A continuación, en el **Gráfico 6-7** se muestra la disminución de demanda de calefacción, respecto al incremento espesor de aislamiento.



**Gráfico 6-7.** DEMANDA ENERGÉTICA RESPECTO A INCREMENTO ESPESOR DE AISLAMIENTO.

(Fuente: Elaboración propia)

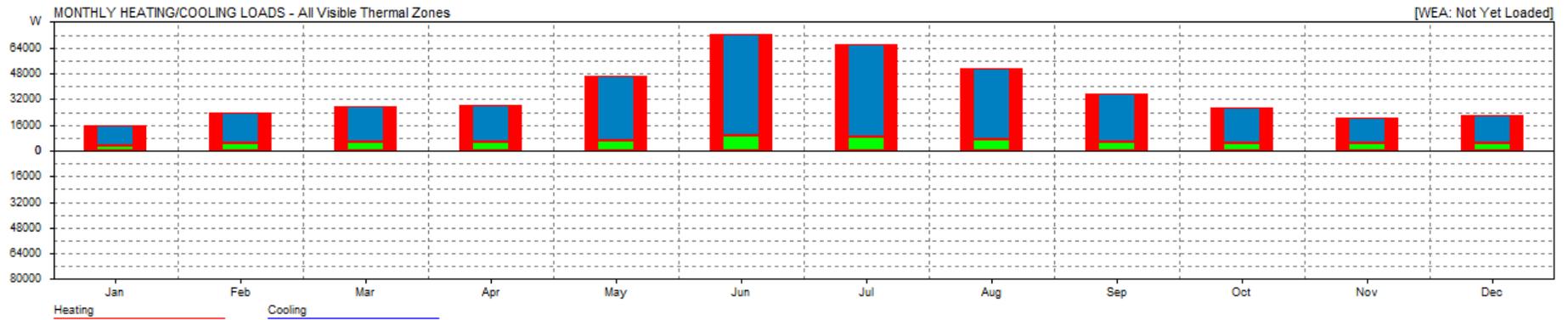


Gráfico 6-8. DEMANDA DE CALEFACCIÓN, CON 20 CM. DE AISLAMIENTO EN CERRAMIENTOS

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

- LEYENDA:**
- DEMANDA REQUERIDA PARA LA ZONA NOCHE
  - DEMANDA REQUERIDA PARA LA ZONA DÍA
  - DEMANDA TOTAL REQUERIDA

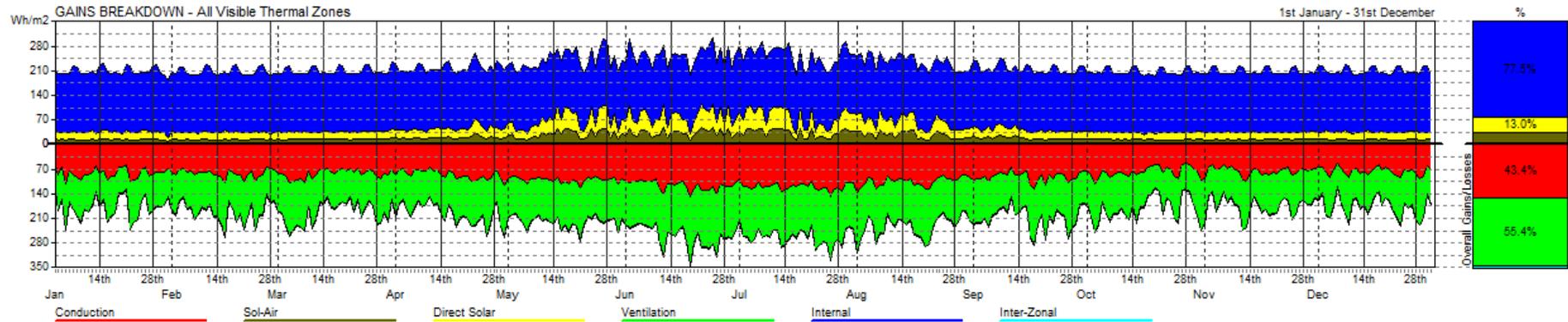


Gráfico 6-9. DESGLOSE DE GANANCIAS PASIVAS CON AISLAMIENTO DE 20 CM.

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

#### 6.1.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En los resultados obtenidos, se observa que a medida que incrementamos el espesor del aislamiento la demanda de calefacción baja.  
Así mismo; se verifica que a mayor aislamiento las pérdidas por conducción y convección son menores y que se puede aprovechar en mayor medida el calor generado por cargas internas y la radiación solar directa.
- La demanda de refrigeración continúa siendo nula porque en los parámetros del modelado de la vivienda se ha determinado ventilación natural.
- En los ensayos realizados con distintos espesores de aislamiento, desde 0.02m hasta 0.20m, pudimos obtener demandas que tienen valores por debajo de 15kWh/m<sup>2</sup> anuales (límite de demanda establecida por el Passivhaus).

Para los siguientes ensayos optaremos por utilizar todas las opciones de espesor de aislamiento de los cerramientos analizados; esta decisión, es para elegir la mejor combinación entre aislamiento y vidrio.

#### 6.1.3 CASO 3 – MEJORA ACRISTALAMIENTO DEL EDIFICIO

El propósito de evaluar los vanos orientados al norte es conseguir mediante las ganancias por radiación solar directa disminuir la demanda de calefacción en las zonas en las que se coloquen.

Para ello primero se tiene que optimizar la superficie de huecos con el fin de que el calor perdido a través de ellos sea menor que las ganancias que se obtienen por radiación.

Las ventanas, son una debilidad de la envolvente del edificio en lo que se refiere a la transmisión de calor, porque tienen mayor transmitancia térmica que el cerramiento opaco.

Para este ensayo se eligió ventanas de **carpintería de madera y doble vidrio bajo emisivo de conductividad 2.26 W/m<sup>2</sup>K y triple vidrio bajo emisivo de conductividad 1.80 W/m<sup>2</sup>K**. Debido a la baja transmitancia de los cerramientos el flujo de calor a través de las ventanas, que presentan una resistencia al paso del calor mucho menor, es muy grande, lo que se traduce en que sean mucho mayores las pérdidas de calor a través de las ventanas que las ganancias por radiación solar directa.

Las ventanas serán practicables oscilo batientes, porque con estas tenemos menos problemas de infiltraciones.

Las ventanas se encuentran en la fachada norte de los dormitorios y el comedor, del siguiente modo:

- 0.64m<sup>2</sup>: Una ventana en el comedor (Zona día).
- 0.64m<sup>2</sup>: Una ventana en el dormitorio principal (Zona noche).
- 0.64m<sup>2</sup>: Una ventana en el dormitorio secundario (Zona noche).

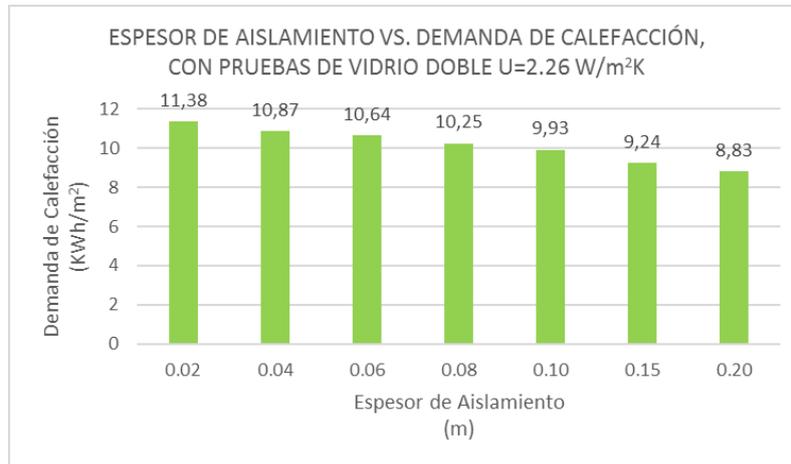
**Tabla 6-5.** RESULTADO 03 - DEMANDA ENERGÉTICA DE PRUEBAS CRUZADAS DE ESPESOR DE AISLAMIENTO CON VIDRIO DOBLE Y TRIPLE BAJO EMISIVO, CON CÁMARA DE AIRE.

DESCRIPCIÓN	ESPELOR DE AISLAMIENTO m	VIDRIO DOBLE CON CÁMARA DE AIRE, U=2.26 W/m <sup>2</sup> K		VIDRIO TRIPLE CON CÁMARA DE AIRE, U=1.80 W/m <sup>2</sup> K		
		DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )	
Aislante lana de roca en muro y suelo.	Zona día	0.02	68,91	3,82	65,98	3,67
	Zona noche		340,58	18,92	320,10	17,78
	<b>Total</b>		<b>409,50</b>	<b>11,38</b>	<b>386,08</b>	<b>10,73</b>
	Zona día	0.04	69,74	3,87	64,72	3,60
	Zona noche		321,52	17,86	292,84	16,27
	<b>Total</b>		<b>391,25</b>	<b>10,87</b>	<b>357,57</b>	<b>9,93</b>
	Zona día	0.06	70,86	3,94	66,13	3,67
	Zona noche		312,20	17,34	284,58	15,81
	<b>Total</b>		<b>383,05</b>	<b>10,64</b>	<b>350,71</b>	<b>9,74</b>
	Zona día	0.08	68,51	3,80	64,09	3,56
	Zona noche		300,42	16,70	273,19	15,18
	<b>Total</b>		<b>368,94</b>	<b>10,25</b>	<b>337,28</b>	<b>9,37</b>
Zona día	0.10	66,83	3,71	62,54	3,47	
Zona noche		290,68	16,15	263,56	14,64	
<b>Total</b>		<b>357,52</b>	<b>9,93</b>	<b>326,10</b>	<b>9,06</b>	
Aislante lana de roca en muro y 10 cm de aislamiento en suelo.	Zona día	0.15	62,28	3,46	58,38	3,24
	Zona noche		270,42	15,02	244,25	13,57
	<b>Total</b>		<b>332,70</b>	<b>9,24</b>	<b>302,63</b>	<b>8,40</b>
	Zona día	0.20	56,42	3,13	52,38	2,91
	Zona noche		261,43	14,52	235,51	13,08
<b>Total</b>		<b>317,84</b>	<b>8,83</b>	<b>287,89</b>	<b>8,00</b>	

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

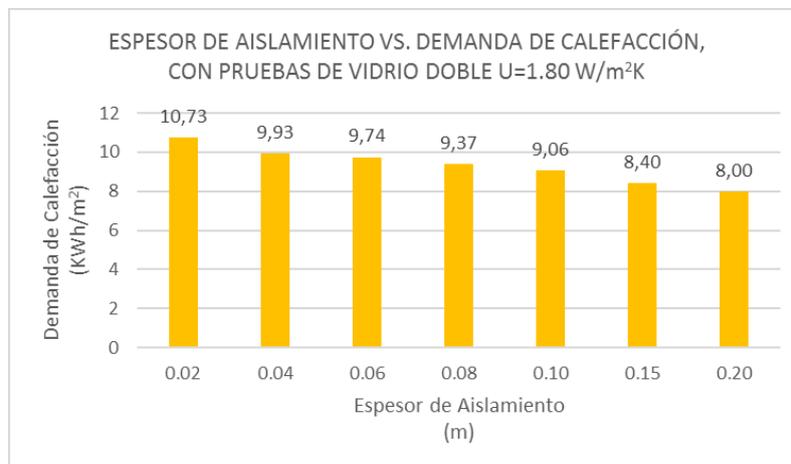
[NOTA: Las dimensiones de las ventanas continúan siendo las planteadas inicialmente, debido a que la demanda energética incrementó cuando se realizó un ensayo paralelo con ventanas de mayor dimensión].

A continuación, en el **Gráfico 6-10** y el **Gráfico 6-11**, se muestra los resultados de la demanda energética requerida tras los ensayos realizados en la **Tabla 6-5**, estos resultados son consecuencia de la relación que existe entre el espesor del aislamiento incorporado en los cerramientos y el tipo de vidrio con el que se realiza los ensayos.



**Gráfico 6-10.** DEMANDA ENERGÉTICA CON VIDRIO DOBLE BAJO EMISIVO, RESPECTO A INCREMENTO ESPESOR DE AISLAMIENTO.

(Fuente: Elaboración propia)

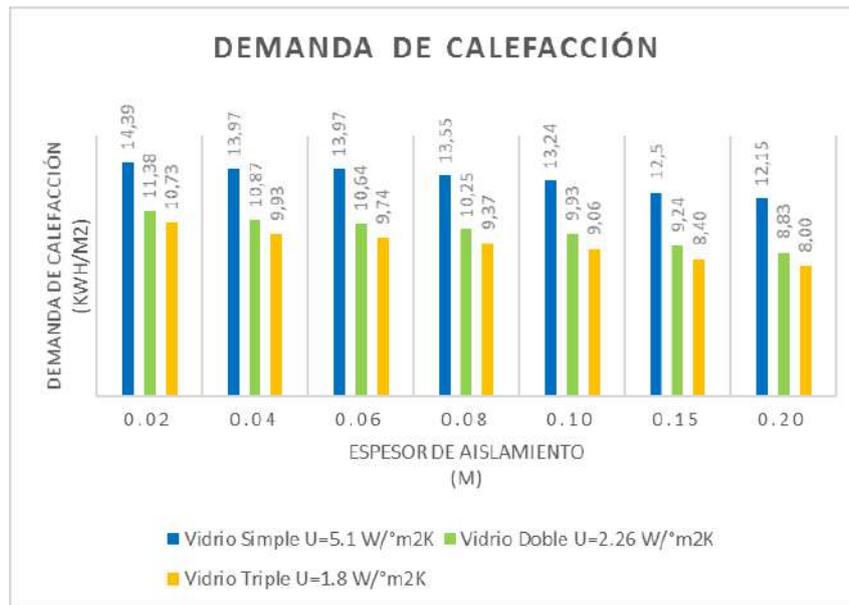


**Gráfico 6-11.** DEMANDA ENERGÉTICA CON VIDRIO TRIPLE BAJO EMISIVO, RESPECTO A INCREMENTO ESPESOR DE AISLAMIENTO.

(Fuente: Elaboración propia)

### 6.1.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el **Gráfico 6-12**, se muestra los distintos escenarios posibles que existe entre el espesor del aislamiento y el tipo de vidrio utilizado, también, se observa que la demanda de calefacción disminuye a medida que mejoramos el tipo de aislamiento y las características de las ventanas.



**Gráfico 6-12.** COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE SIMULACIONES DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN CON MEJORAS.  
(Fuente: Elaboración propia)

El mejor resultado obtenido es el que corresponde a la **combinación de 0.20 m de aislamiento y vidrio triple  $U=1.8 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$** , en este caso la demanda total disminuye respecto a los casos anteriores. Sin embargo, creemos que todas las alternativas planteadas representan escenarios óptimos, porque todas estas tienen un valor menor a  $15 \text{ kWh/m}^2$  que viene a ser el límite establecido por el estándar Passivhaus

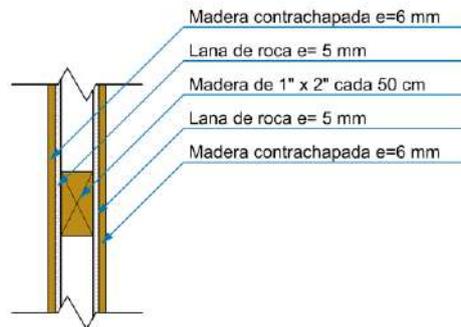
En nuestro caso para realizar los siguientes ensayos, por condiciones de funcionalidad la opción elegida fue la combinación de **0.10 m con aislamiento y vidrio triple  $U=1.8 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$** , esto se debe a que el espesor del muro de adobe es de 40 cm, por consiguiente, para distribuir adecuadamente los espacios la dimensión de los muros debe de ser como máximo de 50 cm.

#### 6.1.4 CASO 4 – INCORPORACIÓN DE AISLAMIENTO EN PUERTAS

Para reducir las infiltraciones de aire a través de puertas, al igual que los cerramientos es adecuado utilizar aislamiento; el material aislante elegido es lana de roca que tiene una conductividad de  $0.034 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Las puertas se encuentran ubicadas del siguiente modo:

- $1.89\text{m}^2$ : Una puerta en el comedor orientada al oeste.
- $1.68\text{m}^2$ : Una puerta en el dormitorio principal orientada al norte.
- $1.68\text{m}^2$ : Una puerta en el dormitorio secundario orientada al norte.



**Gráfico 6-13.** DETALLE DE PUERTA CON AISLAMIENTO

(Fuente: Elaboración propia)

Las simulaciones se realizaron con las opciones de **0.10 m de aislamiento en los cerramientos y vidrio triple  $U=1.8 \text{ W}/^\circ\text{m}^2\text{K}$**  y **0.20 m de aislamiento en los cerramientos y vidrio triple  $U=1.8 \text{ W}/^\circ\text{m}^2\text{K}$** .

Después de realizar las mejoras en las puertas, el coeficiente de conductividad es  $U=1.44 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , los resultados obtenidos son los siguientes.

**Tabla 6-6.**- RESULTADO 04 - DEMANDA ENERGÉTICA CON CONDICIONES MEJORADAS DE PUERTA

DESCRIPCIÓN		PUERTAS U $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN ( $\text{KWh}/\text{m}^2$ )
0.10 m de aislamiento y vidrio triple $U=1.8 \text{ W}/^\circ\text{m}^2\text{K}$	Zona día	1.44	62,54	3,47
	Zona noche		40,74	2,26
	<b>Total</b>		<b>103,28</b>	<b>2,87</b>
0.20 m de aislamiento y vidrio triple $U=1.8 \text{ W}/^\circ\text{m}^2\text{K}$	Zona día	1.44	52,38	2,91
	Zona noche		30,44	1,69
	<b>Total</b>		<b>82,82</b>	<b>2,30</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

#### 6.1.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- En las pruebas cruzadas de espesor de aislamiento con vidrio doble y triple, observamos que una de las mejoras indiscutibles es emplear ventanas de vidrio triple, porque proporcionan mayor aislamiento térmico. En nuestro caso, una ventana de vidrio simple tiene una conductividad térmica de  $5.10 \text{ W}/^\circ\text{m}^2\text{K}$  y a medida que vamos añadiendo cámaras de aire y más láminas de vidrio logramos reducir hasta  $1.80 \text{ W}/^\circ\text{m}^2\text{K}$ .
- En el proceso de simulación pudimos ver que al colocar más superficie de ventanas la demanda de calefacción incrementó, como dijimos las ventanas suponen debilidades en el cerramiento, es decir el flujo de calor de pérdidas es mayor.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la **Tabla 6-6**, para alcanzar nuestros objetivos es necesario incorporar aislamiento en las tres puertas que conforman la vivienda, con este punto resuelto, se logró disminuir de manera significativa la demanda energética.

## 6.2 ANÁLISIS MEJORAS ADICIONALES: OBJETIVO CONSUMO 0.

Con la finalidad de seguir disminuyendo la demanda de la vivienda y conseguir que sea consumo cero, se realizaron nuevas pruebas con nuevos parámetros, para conseguir un ajuste final; en este caso, la estrategia pasiva utilizada es el Invernadero,

### 6.2.1 CASO 5 – INVERNADERO ADOSADO

Dentro de la arquitectura solar pasiva, existen elementos arquitectónicos que favorecen e intensifican la captación de energía solar, entre ellos podemos destacar el invernadero

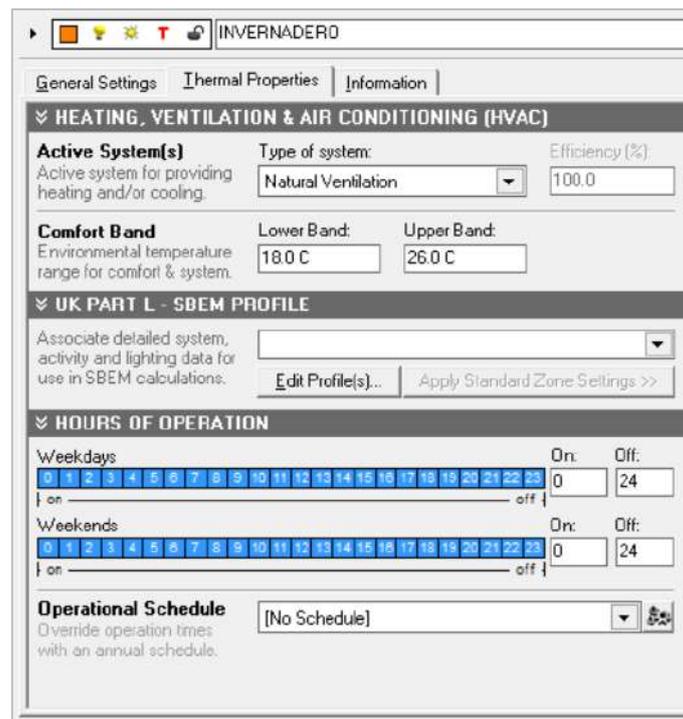
Una forma sencilla de captar calor es adosar un invernadero a la fachada de la vivienda, para que este distribuya el calor captado en toda la casa por convección.

Para realizar los cálculos que acabamos de describir, primero se asignó las características del invernadero, en el Ecotect.

The screenshot shows the 'INTERNAL DESIGN CONDITIONS' and 'OCCUPANCY AND OPERATION' settings in the Ecotect software. The window title is 'INVERNADERO'. The 'INTERNAL DESIGN CONDITIONS' section includes: Clothing (clo) set to 1.00, Humidity (%) set to 60.0, Air Speed set to 0.50 m/s, and Lighting Level set to 300 lux. The 'OCCUPANCY AND OPERATION' section includes: No. of People and Activity set to 0, Sedentary - 70 W, Internal Gains (Sensible Gain: 5, Latent Gain: 2) W/m2, and Infiltration Rate (Air Change Rate: 0.50, Wind Sensitivity: 0.25) Air changes / hr. All gain and infiltration rate settings have a '[No Schedule]' dropdown menu.

**Gráfico 6-14.** CONDICIONES GENERALES PARA CÁLCULO DE CARGAS  
TÉRMICAS PARA EL INVERNADERO

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)



**Gráfico 6-15.** PROPIEDADES DE CONFORT TÉRMICO PARA EL INVERNADERO  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Las simulaciones se realizaron con todas las mejoras implementadas, la opción elegida fue **0.10m de aislamiento en los cerramientos, puertas mejoradas y vidrio triple  $U=1.8 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$** . Y el material asignado para el Invernadero es plancha celular de policarbonato de 0.06m de espesor.

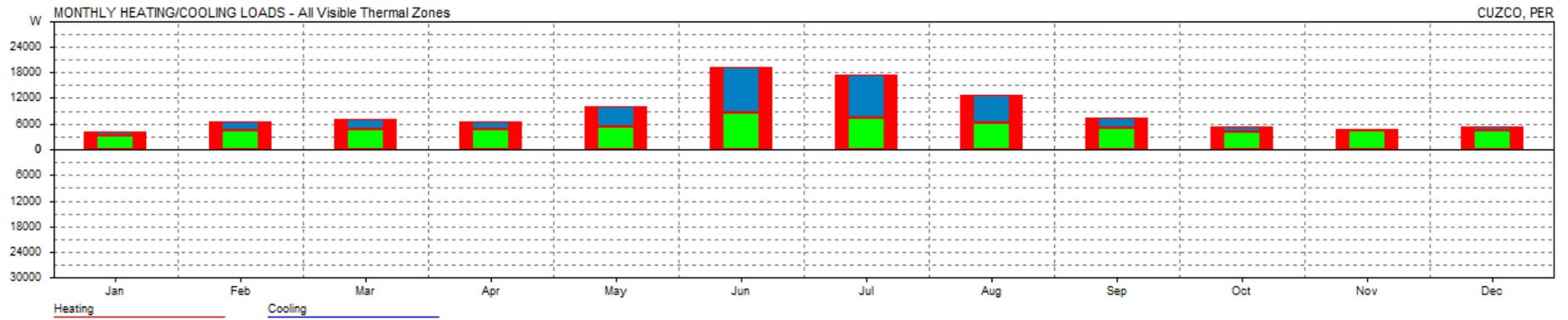
**Tabla 6-7.-** RESULTADO 05 - DEMANDA ENERGÉTICA CON CONDICIONES MEJORADAS E INCORPORACIÓN DE INVERNADERO

DESCRIPCIÓN		DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )
Plancha celular de policarbonato de 0.06m	Zona día	62,54	3,47
	Zona noche	43,82	2,43
	Invernadero	-	-
	<b>Total</b>	<b>106,36</b>	<b>2,25</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

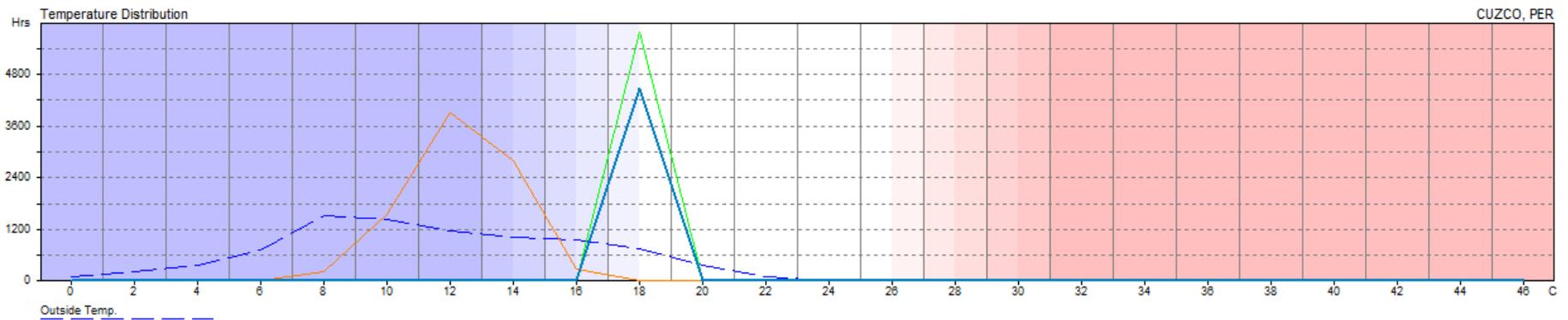
*[NOTA: también se realizó un ensayo con vidrio simple y los resultados fueron semejantes, por lo que, concluimos que es recomendable utilizar ambos materiales para la construcción del invernadero].*

En el proceso de simulación del Ecotect, cuando ya se ha incorporado el invernadero, no se toma en cuenta el flujo de aire caliente entre zonas, cuando los vanos están abiertos; esto significa que no se toma en cuenta la transmisión de calor inter zonas aportado por el invernadero.



**Gráfico 6-16.** DEMANDA DE CALEFACCIÓN CON 10 CM. DE AISLAMIENTO EN CERRAMIENTOS E INVERNADERO ADOSADO

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)



**Gráfico 6-17.** DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA TEMPERATURA

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

- LEYENDA:**
- DEMANDA REQUERIDA PARA LA ZONA NOCHE
  - DEMANDA REQUERIDA PARA LA ZONA DÍA
  - DEMANDA TOTAL REQUERIDA

### 6.2.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según la distribución anual de temperatura, verificamos que tras las mejoras incorporadas las temperaturas alcanzadas oscilan entre 18° y 20°.

**Tabla 6-8.** DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA TEMPERATURA,  
ZONA DÍA

TEMPERATURA	HORAS	PORCENTAJE
18.0	5793	99.2%
20.0	47	0.8%
<b>CONFORT</b>	<b>5840</b>	<b>100.0%</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

**Tabla 6-9.** DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA TEMPERATURA,  
ZONA NOCHE

TEMPERATURA	HORAS	PORCENTAJE
18.0	4484	100.0%
<b>CONFORT</b>	<b>4484</b>	<b>100.0%</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Tras este último ensayo, llegamos así a la definición del **MODELO ÓPTIMO**:

- Mejora de las características constructivas de los cerramientos.
- Espesor de aislamiento en cubierta, muros y techo de 0.10m.
- Espesor de aislamiento en puertas 0.01m.
- Superficie de ventanas orientadas al norte de 1.92m<sup>2</sup>.
- Invernadero adosado de plancha celular de policarbonato 0.06m o vidrio simple de 0.06m.

**Tabla 6-10.** DEMANDAS ÓPTIMO

DESCRIPCIÓN		DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )
Características constructivas mejoradas	Zona día	62,54	3,47
	Zona noche	43,82	2,43
	<b>Total</b>	<b>106,36</b>	<b>2,25</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Con este modelo nos encontramos en un nivel de demanda de calefacción bastante por debajo del máximo marcado por el estándar Passivhaus de 15kWh/m<sup>2</sup> anuales.

## 6.3 ÓPTIMO FINAL.

En este apartado no incluiremos los resultados de cada simulación, pero si las conclusiones que se extrajeron de ellos, mostrando los resultados finales tras realizar los ajustes oportunos.

- 1) Mejora de los materiales de suelo y cubierta.
- 2) Espesor de aislamiento en muros, cubiertas y suelo.
- 3) Superficie de ventanas a Norte.
- 4) Aislamiento en puertas.
- 5) Invernadero adosado.

### 6.3.1 CONCLUSIONES OBTENIDAS DE LA SIMULACIÓN.

Respecto a las pruebas de variación de espesor de aislamiento, al aumentar el espesor en cubierta, muros y suelos las demandas de calefacción disminuyen, mientras que al disminuir el espesor se produce el efecto contrario.

Al variar el espesor del aislamiento en las puertas se produce el mismo efecto, aunque de una manera menos acusada. Con lo cual aumentar el espesor de aislamiento siempre va a favor de disminuir la demanda.

En lo referente a la superficie y material utilizado para las ventanas colocadas en la fachada Norte, con vidrio doble bajo emisivo y con cámara de aire  $U=2.26 \text{ W/m}^2\text{K}$  y vidrio triple bajo emisivo con cámara de aire  $U=1.80 \text{ W/m}^2\text{K}$  mejora significativamente la demanda de calefacción.

Se optó por no colocar ventanas orientadas en las fachadas Sur, Este y Oeste porque las demandas empeoran, aunque no de una manera muy acusada.

### 6.3.2 RESULTADOS DE MEJORAS

#### 6.3.2.1 RESULTADO 1 (Véase Ítem 5.3)

- Mejora de los materiales constructivos utilizados en los cerramientos.

**Demanda de calefacción: 16,27 (KWh/m<sup>2</sup>)**

#### 6.3.2.2 RESULTADO 2 (Véase Ítem 6.1.2)

- Incorporación de aislamiento en cubierta, muros y suelo, se eligió 10cm por funcionalidad y aprovechamiento del espacio.

**Demanda de calefacción: 13,24 (KWh/m<sup>2</sup>)**

### 6.3.2.3 RESULTADO 3 (Véase Ítem 6.1.3)

- La superficie de ventanas orientadas al norte pasa a ser 1.92 m<sup>2</sup>, una ventana en el comedor y dos en ambos dormitorios; el material elegido fue vidrio triple bajo emisivo, con cámaras de aire, de conductividad 1.80 W/m<sup>2</sup>K.

**Demanda de calefacción: 9,06 (KWh/m<sup>2</sup>)**

### 6.3.2.4 RESULTADO 4 (Véase Ítem 6.1.4)

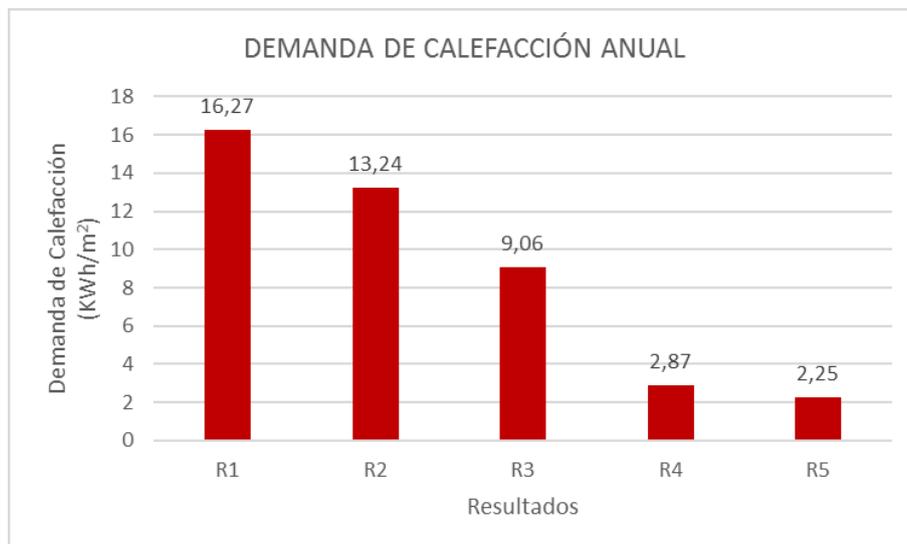
- Incorporación de aislamiento en las puertas.

**Demanda de calefacción: 2,87 (KWh/m<sup>2</sup>)**

### 6.3.2.5 RESULTADO 5 (Véase Ítem 6.2.1)

- Integración de invernadero adosado a la vivienda, orientación norte. El material elegido para su construcción puede ser: plancha celular de policarbonato 0.06m o vidrio simple de 0.06m.

**Demanda de calefacción: 2,25 (KWh/m<sup>2</sup>)**



**Gráfico 6-18.** DEMANDA DE CALEFACCIÓN, RESULTADOS 1,2,3,4 Y 5.  
(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

### ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- Con el ajuste de las medidas pasivas, RESULTADO 5, se ha conseguido reducir muy significativamente la demanda de calefacción siendo ésta muy cercana a cero y por debajo del máximo estipulado por el estándar Passivhaus de 15kWh/m<sup>2</sup> anuales.

- Como ya hemos mencionado, hasta el momento los parámetros que más efecto han tenido en el ajuste del modelo han sido:
  - La mejora de materiales que conforman los cerramientos.
  - La incorporación de aislamiento en los cerramientos que conforman la envolvente.
  - Control de los materiales y superficie de las ventanas orientadas al NORTE.

# CAPÍTULO VI

---

## RESULTADOS FINALES

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS FINALES: COMPARACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

En el proceso de optimización realizado se han implementado una serie de medidas pasivas para la disminución de los requerimientos de calefacción de la vivienda.

**Tabla 7-1.** COMPARACIÓN DE DEMANDAS - RESULTADOS FINALES

DESCRIPCIÓN		DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )
Características constructivas originales	Zona día	1829,23	101,62
	Zona noche	5113,98	284,11
	<b>Total</b>	<b>6943,20</b>	<b>192,87</b>
Características constructivas mejoradas	Zona día	62,54	3,47
	Zona noche	43,82	2,43
	<b>Total</b>	<b>106,36</b>	<b>2,25</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

La demanda de calefacción de la vivienda en el estado original es muy elevada, esto se debe a que la vivienda no tiene aislamiento.

Con las medidas implementadas y teniendo en cuenta la ventilación natural de la vivienda, conseguimos una disminución realmente muy importante de la demanda total; a efectos reales prácticamente eliminamos la demanda de climatización.

Se debe tener en cuenta la gran mejora obtenida puesto que se han conseguido disminuir casi en un 98.83% de los requerimientos de calefacción.

Para la justificación de las medidas tomadas veamos de una forma pormenorizada cómo las diferentes medidas implementadas han contribuido a la mejora de la demanda energética de la vivienda.

#### MEDIDAS PASIVAS:

- Aislamiento en cerramientos y puertas.
- Superficie y material de ventanas orientadas al Norte.
- Invernadero adosado.

**MEDIDAS ACTIVAS:**

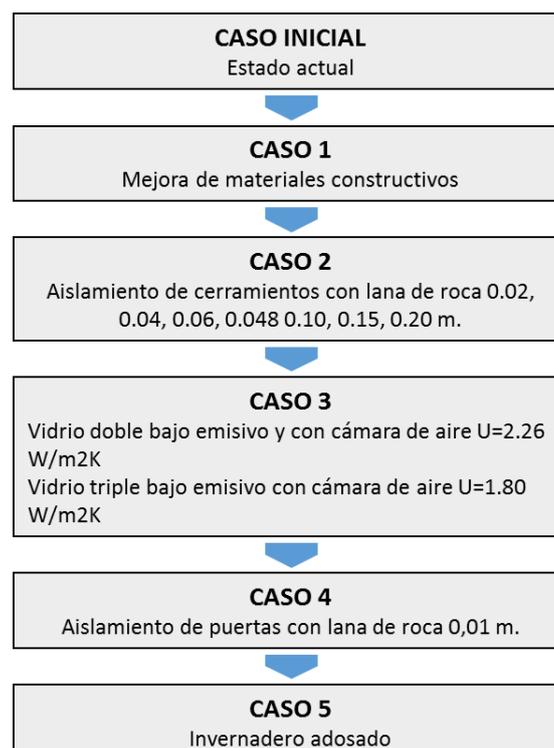
*[NOTA: No se consideró medidas activas, en un caso ideal el recuperador sensible y la sobreventilación nos permitirían llegar al consumo cero; sin embargo, por las condiciones económicas del usuario de la vivienda rural, estos sistemas fueron descartados].*

En lugar de utilizar el recuperador sensible y la sobreventilación, sería recomendable utilizar una caldera de combustibles sólido como las estufas de pellets canalizables, que permitirían conducir el calor a las habitaciones cercanas mediante conductos de distribución de aire.

La estufa de pellets ha supuesto una revolución en sistemas de calor, porque son un medio de calefacción limpio y económico. El pellet es un combustible 100% renovable que se fabrica a partir de residuos vegetales y que lanza bajas emisiones de CO<sub>2</sub> porque respeta el ciclo del CO<sub>2</sub> de la naturaleza.

El uso de pellets ofrece una alta eficiencia. Además, debido al bajo precio del pellet en comparación con otros combustibles.

Continuando con la justificación de resultados, para lograr nuestros objetivos se ha seguido un proceso secuencial, en el que se han ido implementando mejoras, con la finalidad de poder evaluar cómo cada mejora influye en la demanda respecto al paso anterior y como finalmente la implementación de todas ellas ha repercutido sobre la demanda final.



Del proceso de simulación realizado, se extraen las siguientes conclusiones:

**Tabla 7-2.** DEMANDAS - CASOS BASES - RESULTADOS FINALES.

CASO	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )	PORCENTAJES DISMINUCIÓN DEMANDA
CASO INICIAL	6943,20	192,87	91,56%
CASO 1	585,82	16,27	

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Mejorar las características constructivas de la vivienda e implementar cargas de uso supone una mejora considerable de la demanda de calefacción, disminuyendo ésta en un 91,56% mientras que por las condiciones climáticas la demanda de refrigeración es nula.

**Tabla 7-3.** DEMANDAS – CASO AISLAMIENTO DE ENVOLVENTE - RESULTADOS FINALES.

CASO	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )	PORCENTAJES DISMINUCIÓN DEMANDA
CASO 1	585,82	16,27	18,62%
CASO 2	476,74	13,24	

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Aislar es una medida muy efectiva con la que se consigue disminuir la demanda de calefacción en un 18,62%.

**Tabla 7-4.** DEMANDAS – CASO VIDRIO BAJO EMISIVO - RESULTADOS FINALES.

CASO	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )	PORCENTAJES DISMINUCIÓN DEMANDA
CASO 2	476,74	13,24	31,57%
CASO 3	326,10	9,06	

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

El colocar triple vidrio bajo emisivos supone una mejora en la demanda de calefacción del 31,57%, mucho más efectiva que aislar la envolvente.

**Tabla 7-5.** DEMANDAS – CASO AISLAMIENTO PUERTAS - RESULTADOS FINALES.

CASO	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )	PORCENTAJES DISMINUCIÓN DEMANDA
CASO 3	326,10	9,06	68,32%
CASO 4	103,28	2,87	

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Aislar las puertas supone una disminución de la demanda total del 68.32%, en este caso aislar la envolvente y las puertas, es la medida pasiva más efectiva.

**Tabla 7-6.** DEMANDAS – CASO INVERNADERO ADOSADO - RESULTADOS FINALES.

CASO	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh)	DEMANDA CALEFACCIÓN (KWh/m <sup>2</sup> )	PORCENTAJES DISMINUCIÓN DEMANDA
CASO 4	103,28	2,87	21,60%
CASO 5	106,36	2,25	

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

Finalmente implementando el invernadero, la demanda de calefacción disminuye en 21,60%, en este caso las condiciones presentadas son las menos favorables, porque en la simulación, no se toma en cuenta el flujo de aire caliente entre zonas, cuando los vanos están abiertos.

Respecto a las demandas iniciales de la vivienda, la demanda de calefacción se ha reducido en un 98.83%. En este caso el porcentaje de mejora de la demanda total es muy próximo al 100%, por tanto, nuestra vivienda prácticamente tiene consumo cero, es así que, se cumplió el objetivo fundamental del proyecto.

Se considera que teniendo demandas tan bajas no es necesario instalar equipos de climatización, la demanda puntual en el caso de la calefacción puede ser solventada por una estufa de pellets, con la potencia más reducida que exista en el mercado.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas tras realizar el presente trabajo han sido:

- Respecto a las características de la vivienda rural peruana:
  - De acuerdo al análisis realizado sobre la evolución y la tipología de la VRP, podemos afirmar que, en la actualidad las viviendas rurales aún conservan características originales de la vivienda Inca; es así que, los espacios que componen la vivienda generalmente son tres, un comedor-cocina y dos dormitorios, estas viviendas no cuentan con un salón; siendo el patio, el espacio destinado a actividades sociales.
  - Así también, es fundamental iniciar estudios y ensayos sobre nuevas técnicas constructivas y elementos arquitectónicos, con el objeto de proponer un nuevo tipo de arquitectura contemporánea, que satisfaga las necesidades del usuario, fin último de toda arquitectura.
  - Tras desarrollar este trabajo de investigación, podemos concluir que se puede actuar desde el inicio del diseño sobre los parámetros ambientales en cualquier espacio arquitectónico, a fin de proporcionar al usuario condiciones de confort y conseguir una vivienda eficiente; generando respeto a su entorno y el medio ambiente.
- Respecto a la normativa peruana:
  - De acuerdo al estudio realizado, podemos afirmar que la normativa peruana referente a eficiencia energética contiene criterios muy básicos; así también, los valores de transmitancia térmica requeridos para cerramientos son muy altos y estos de ningún modo permitirían alcanzar consumo cero.
- Respecto al programa de simulación Autodesk Ecotect:
  - En el Ecotect podemos evaluar las condiciones climáticas, la iluminación y el porcentaje de sombra en las superficies, pudiendo así encontrar soluciones en el diseño de los edificios; desde el punto de vista, tanto de climatización como de iluminación.
  - La ventaja del Ecotect es que es muy rápido, es posible interactuar con el modelo de diseño y ver el efecto de los cambios de material y el diseño.
  - Un inconveniente, es que los resultados del análisis térmico del Ecotect no son suficientemente precisos para un análisis riguroso de un edificio. Este sirve más como herramienta de diseño preliminar.

- Respecto al ajuste del modelo de la vivienda:
  - Para el presente trabajo, fue fundamental realizar el estudio de las condiciones climáticas y las particularidades del entorno; así también, de todas aquellas variables que influyen significativamente en el comportamiento térmico de la vivienda, la finalidad de esto fue conseguir mayor precisión en los resultados.
- Respecto a la optimización de la demanda energética de la vivienda:
  - Estableciendo que la mayor demanda de calefacción en las viviendas proviene de los periodos de invierno, se han encontrado soluciones de diseño para mejorar y disminuir está, buscando siempre no interferir con el entorno.
  - Eliminar las infiltraciones es una tarea imprescindible en la optimización de la vivienda, pues como hemos visto antes, éstas disminuyen cuantiosamente los requerimientos de calefacción.
  - La medida más efectiva es aislar, incluso con 2cm de espesor de aislamiento se consigue reducir un 92,54% de la demanda energética total; es así que, las alternativas para reducir la demanda de calefacción son múltiples, la elección del espesor del aislamiento puede variar desde 0.02 hasta 0.20 m.
  - Es también, muy importante estudiar la posición y la superficie de las ventanas en relación a la orientación de la vivienda para optimizar la ventilación cruzada, así como el calentamiento por radiación solar directa.
  - Respecto a las ventanas, es mucho más efectivo conseguir características óptimas en los vidrios que en las carpinterías; así que, según los resultados es recomendable utilizar tanto vidrio doble  $U=2.26 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$  y vidrio triple  $U=1.8 \text{ W/}^\circ\text{m}^2\text{K}$  para conseguir disminuir la demanda energética.
  - Para acercarnos al consumo cero, sea cual sea la alternativa elegida de los ensayos de espesor de aislamiento y mejora del acristalamiento, es imprescindible la incorporación de un invernadero orientado al norte. Se trata de crear una habitación acristalada colindante al edificio que nos permita aprovechar la energía solar para calentar la casa, al mismo tiempo que ganamos un espacio agradable y templado.
  - En un caso ideal, el recuperador sensible y la sobreventilación, nos permitirían llegar a consumo cero; sin embargo, por las condiciones económicas del usuario de la vivienda rural, estos sistemas fueron descartados. En lugar de estos, sería recomendable utilizar, por ejemplo, estufas de pellets.

# BIBLIOGRAFÍA

---

## BIBLIOGRAFÍA

- CARAZAS AEDO, W. (2001). *Vivienda urbana popular de adobe en Cusco. Perú*. París: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura.
- CARE Perú. (2010). *Confort térmico en Viviendas Altoandinas; Un enfoque integral*. Lima: Balcarí Editores SAC.
- Centro de Energías Renovables y Uso Racional de la Energía (CER-UNI). (2009). *Evaluación Experimental de Cambios Constructivos para lograr Confort Térmico en una Vivienda Alto Andina del Perú*. Argentina: ISSN 0329-5184.
- CONCHA FLORES, A. G. (2015). *Arquitectura y Urbanismo Pre-inca e Inca*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- DALY, G. (12 de Julio de 2015). El Comercio. *INFORME: Las consecuencias de las heladas en el país*.
- GAYOSO, M. d., & PACHECO, O. C. (2015). *Análisis tipológico de vivienda alpaquera altoandina como base para creación de nuevos modelos*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- GREEN ENERGY Consultoría y Servicios SRL. (10 de Abril de 2015). *Televisión por internet del Colegio de Arquitectos del Perú*. Obtenido de Captv: <http://www.captv.pe/media-gallery/352-norma-em-110-confort-termico-y-luminico-con-eficiencia-energetica.html>
- LÁRRAGA LARA, R., AGUILAR ROBLEDO, M., REYES HERNÁNDEZ, H., & FORTANELLI MARTÍNEZ, J. (2014). La sostenibilidad de la vivienda tradicional: una revisión del estado de la cuestión en el mundo. *Revista de Arquitectura, vol. 16. Universidad Católica de Colombia*, 126-133.
- MANZINI, E. (1992). *Artefactos: hacia una nueva ecología del ambiente artificial*. Madrid: Celeste.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (2014). Norma EM. 110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética. *Reglamento Nacional de Edificaciones*, 523080.

- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. (13 de Mayo de 2014). NORMAS LEGALES. *EL PERUANO*, pág. 523078.
- OFICINA DEL ALTO COMISIONADO DE LAS NACIONES UNIDAS. (1991). El derecho a una vivienda adecuada. *CESCR Observación general Nº 4 (General Comments)*, (pág. 3).
- Passive House Institute. (2015). *Passive House Institute*. Obtenido de Passive House Institute Web site: [http://passiv.de/en/01\\_passivehouseinstitute/01\\_passivehouseinstitute.htm](http://passiv.de/en/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm)
- PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS DEL PERÚ. (2016). Plan Multisectorial Ante Heladas Y Frijaje 2016., (págs. 23 - 25). Lima; PERÚ.
- PROGRAMA NACIONAL DE VIVIENDA RURAL. (2013). *Abrigando hogares*. Lima: GIZ.
- Revista ARQHYS.com. (Diciembre de 2012). *Impacto ambiental y arquitectura*. Obtenido de Impacto ambiental y arquitectura: <http://www.arqhys.com/construcciones/impacto-ambiental-arquitectura.html>.
- SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA DEL PERU. (26 de Enero de 2017). *SENAMHI*. Obtenido de SENAMHI Web site: [http://www.senamhi.gob.pe/main\\_mapa.php?t=dHi](http://www.senamhi.gob.pe/main_mapa.php?t=dHi)
- U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO), and managed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL). (26 de Enero de 2017). *EnergyPlus*. Obtenido de EnergyPlus Web site: <https://energyplus.net/weather>
- UNTOJA CHOQUE, F. (2001). *Retorno al Ayllu: Una mirada aymara a la globalización*. La Paz: De los Diputados.

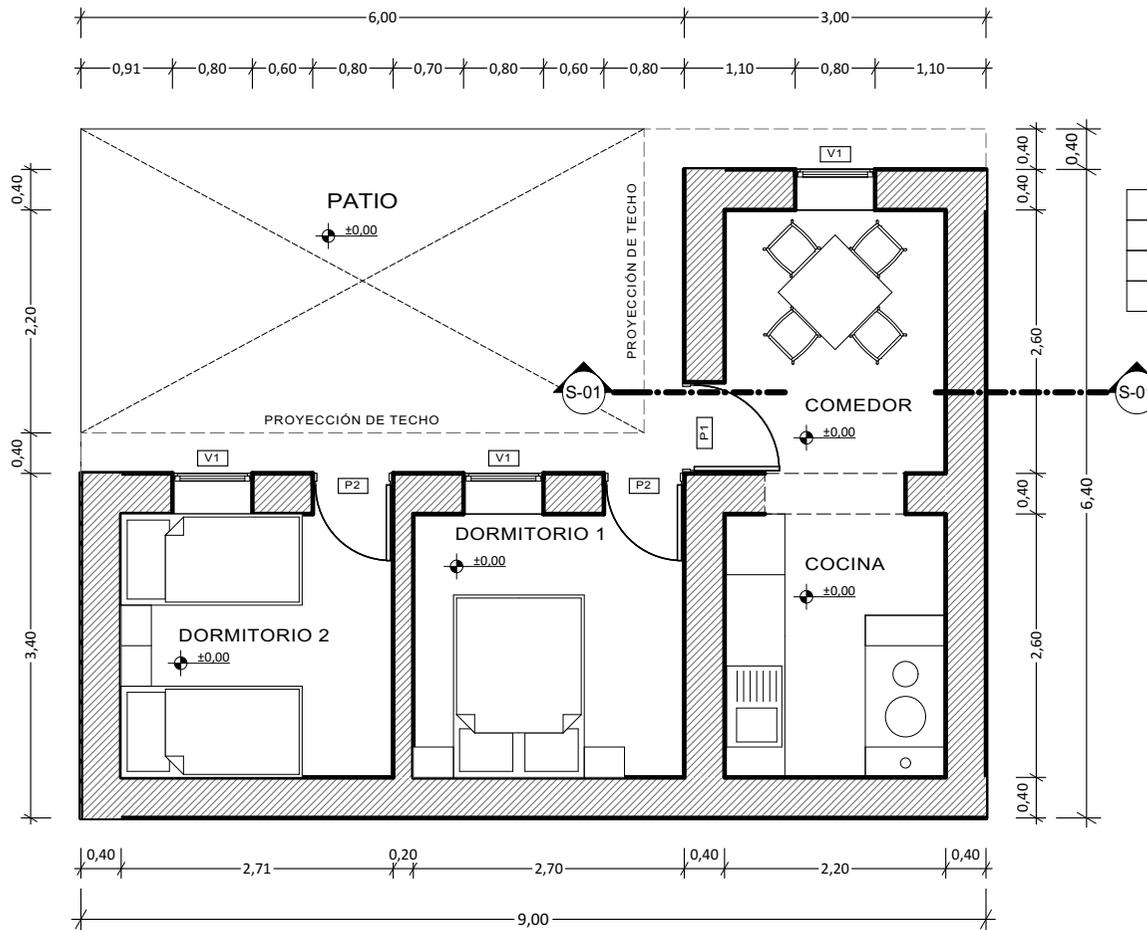
# ANEXOS

---

# ANEXO 01

---

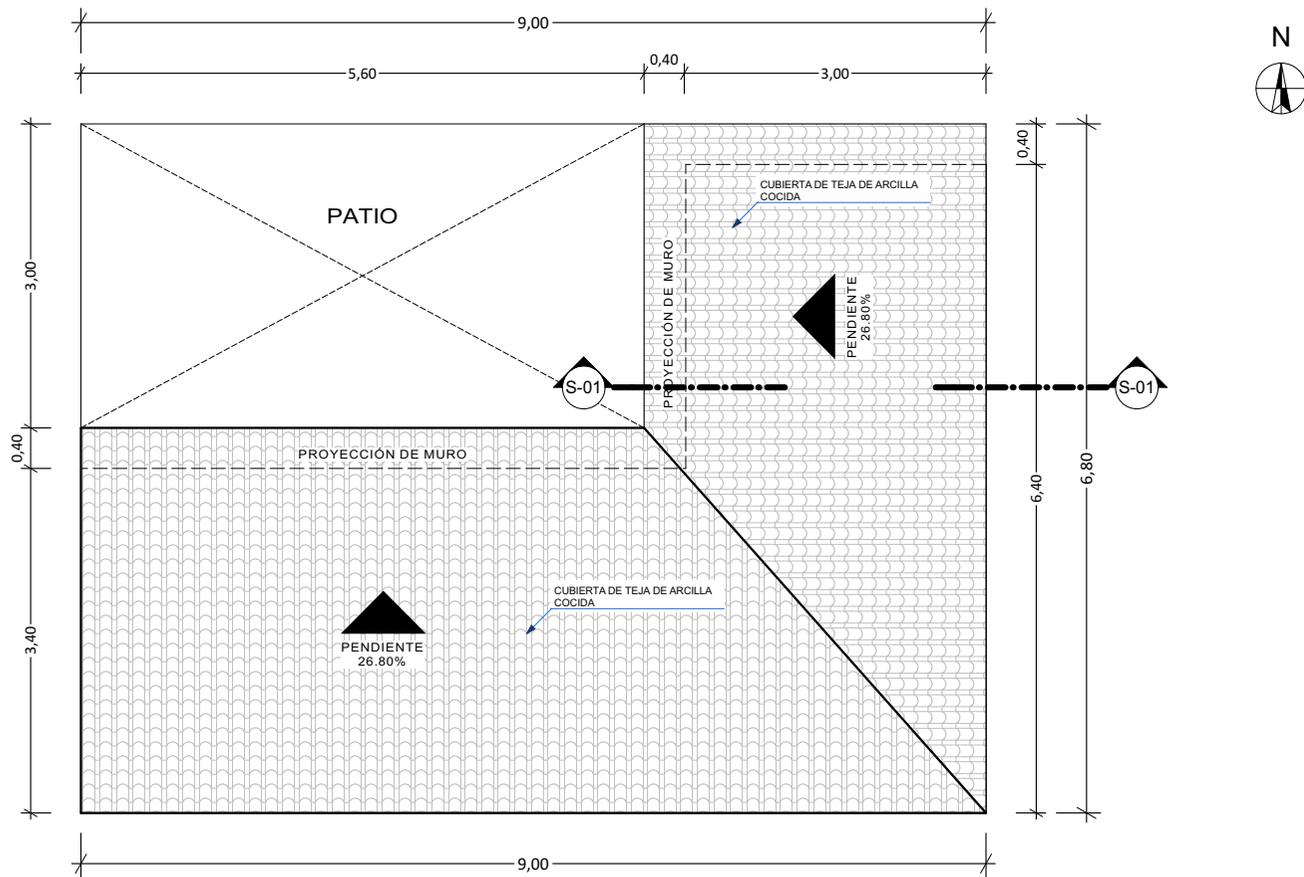
## PLANOS



**CUADRO DE VANOS**

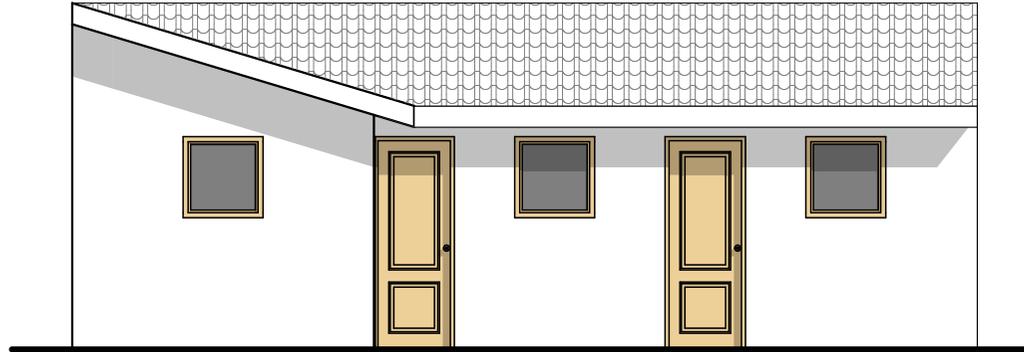
ITEM	ALTURA	ANCHO	ALFEIZAR
V1	0,80	0,80	1,30
P1	0,90	2,10	-
P2	0,80	2,10	-

**PLANO VIVIENDA RURAL - CON INVERNADERO**  
ESC. 1/75

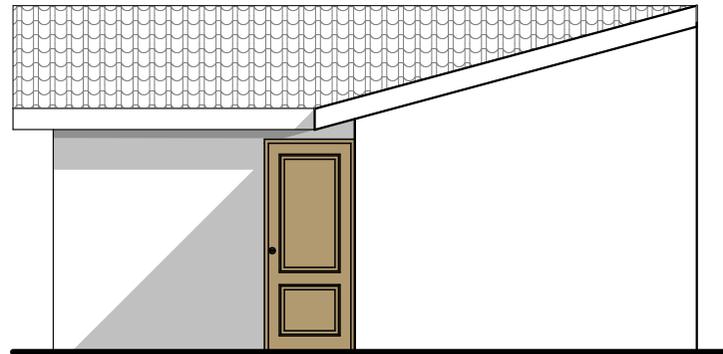


PLANO DE CUBIERTA DE VIVIENDA RURAL - CON MEJORAS

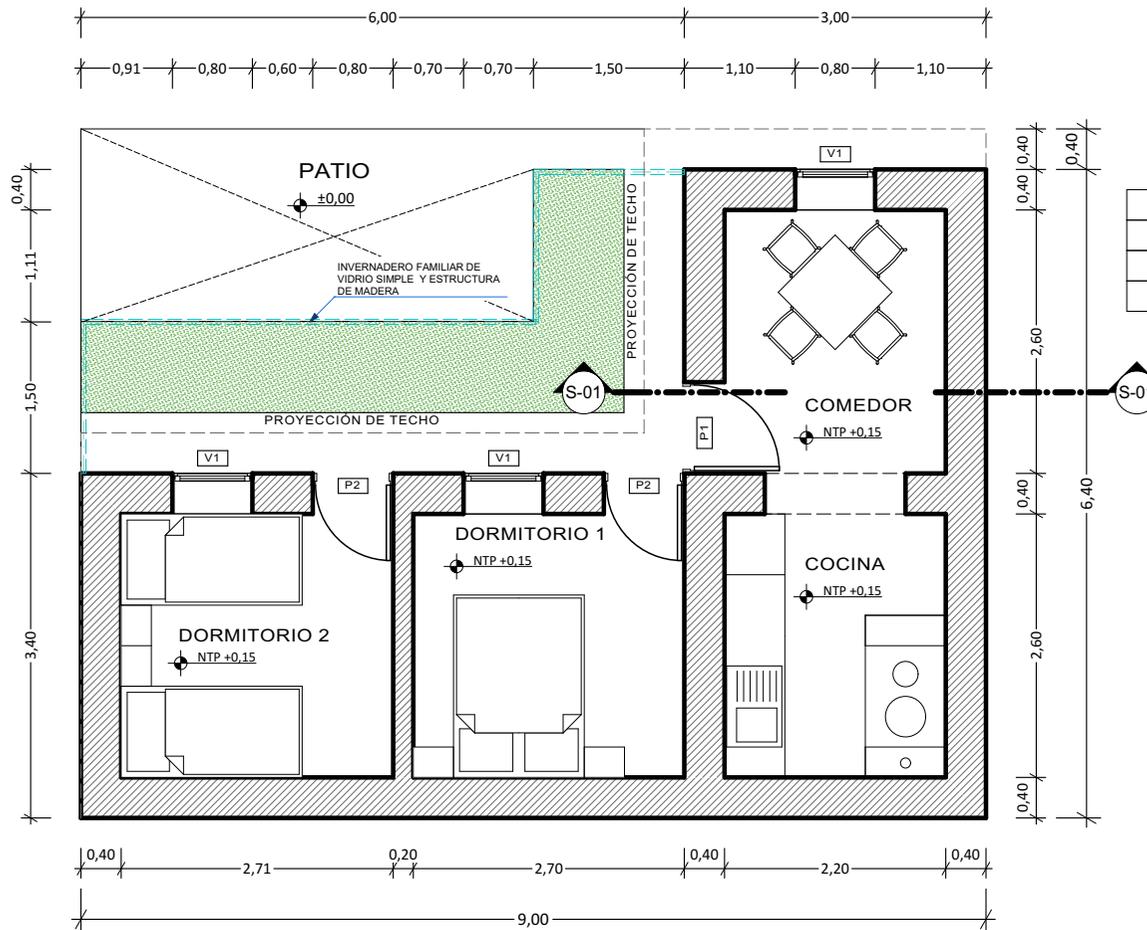
ESC. 1/75



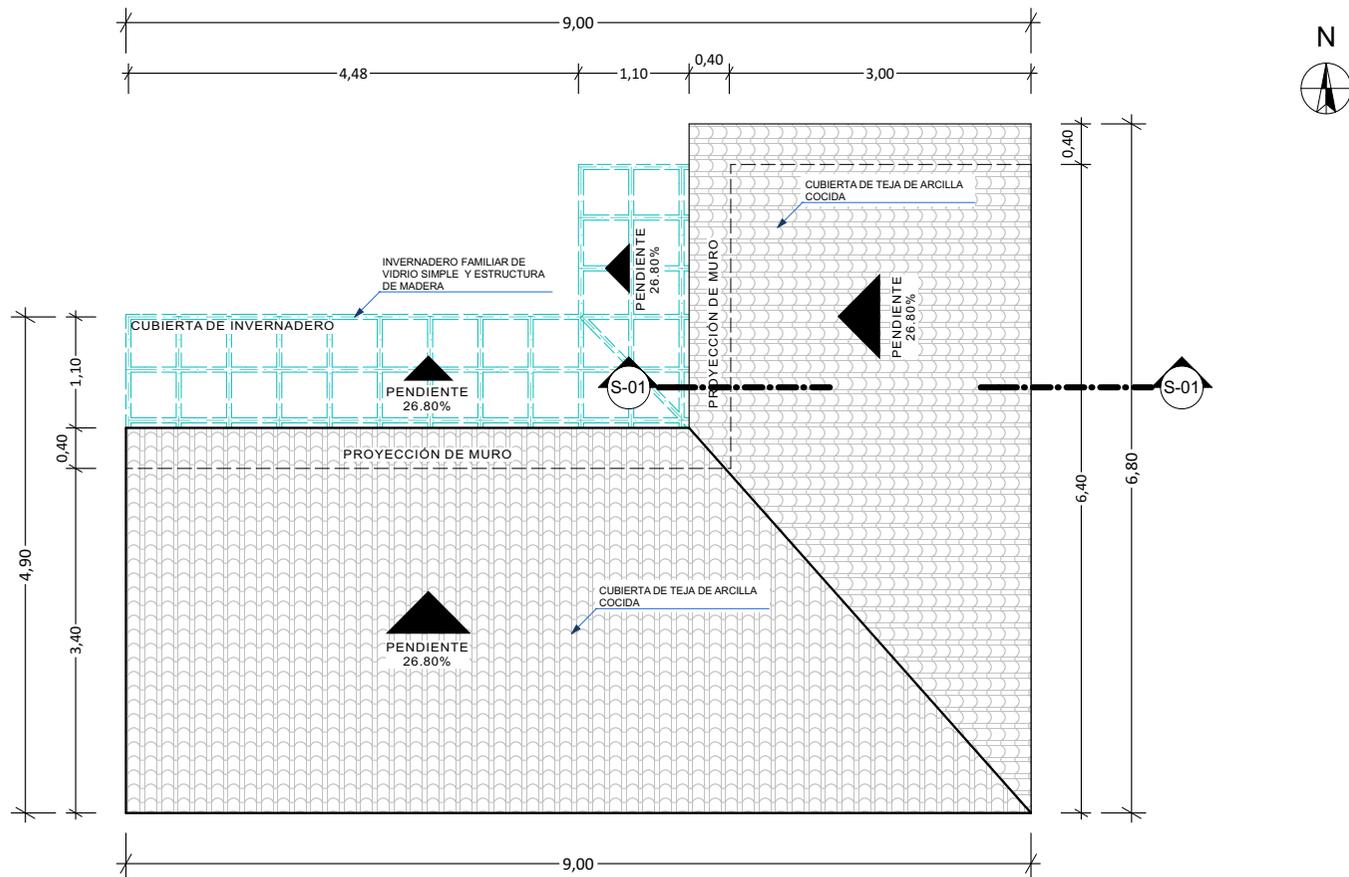
**ELEVACIÓN NORTE**  
ESC. 1/75



**ELEVACIÓN OESTE - CON INVERNADERO ADOSADO**  
ESC. 1/75

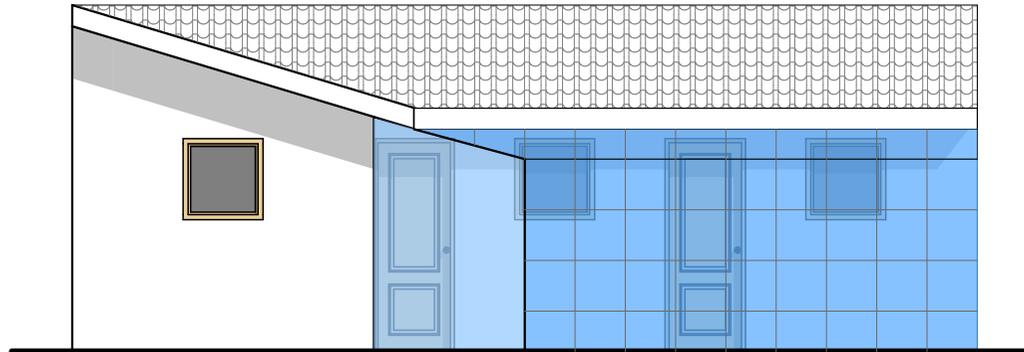


PLANO VIVIENDA RURAL - CON MEJORAS  
ESC. 1/75

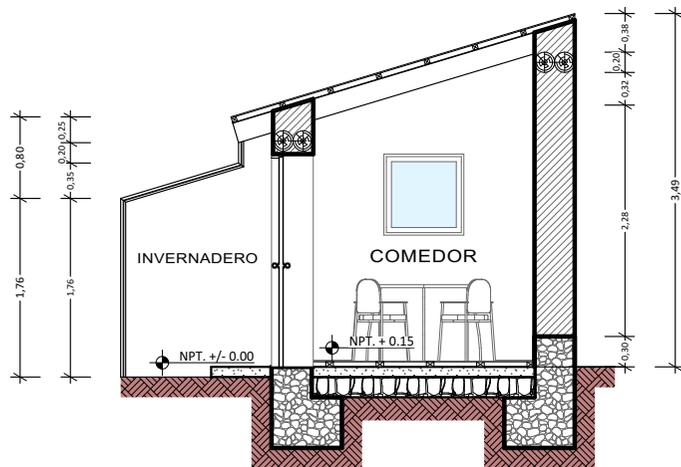


PLANO DE CUBIERTA DE VIVIENDA RURAL - CON MEJORAS

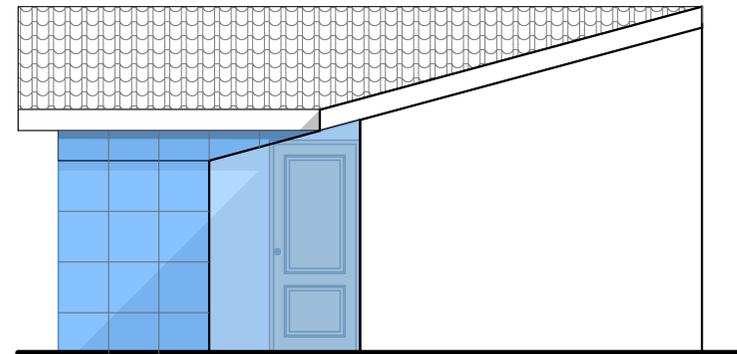
ESC. 1/75



ELEVACIÓN NORTE - CON INVERNADERO ADOSADO  
ESC. 1/75



CORTE S1  
ESC. 1/75



ELEVACIÓN OESTE - CON INVERNADERO ADOSADO  
ESC. 1/75

## ANEXO 02

---

### COEFICIENTES DE TRASMISIÓN

## ANEXO 02 – 1

### DATOS MATERIALES DE CERRAMIENTOS MEJORADOS

#### CERRAMIENTOS DE FACHADA e=50cm.

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1.	Plaster Building (Molded Dry	0.010	1250.0	1088.000	0.431	85
2.	Adobe	0.380	1885.0	1000.000	1.100	55
3.	Rock Wool	0.100	200.0	710.000	0.034	45
4.	Plaster Building (Molded Dry	0.010	1250.0	1088.000	0.431	85

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

#### CERRAMIENTOS DE CUBIERTA e=18 cm.

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1.	Tiling Brick	0.010	1890.0	880.000	0.800	25
2.	Rattan	0.006	15000.0	539.700	4.184	115
3.	Air Gap	0.050	1.3	1004.000	5.560	15
4.	Rock Wool	0.100	200.0	710.000	0.034	45
5.	Rattan	0.006	15000.0	539.700	4.184	115
6.	Plaster Building (Molded	0.010	1250.0	1088.000	0.431	85

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

[Nota: La conductividad del aire es de 0.058 W/mK, por tanto, del valor dado en Ecotect se deduce que este ya tiene en cuenta parte convectiva del aire, considerando una cámara ventilada]

#### CERRAMIENTO HORIZONTAL EN CONTACTO CON EL TERRENO e=56 cm.

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1.	Hard Stone (Unspecified)	0.200	2750.0	840.000	2.900	25
2.	Concrete 1-4 Dry	0.100	2300.0	656.900	0.753	35
3.	Rock Wool	0.100	200.0	710.000	0.034	45
4.	Air Gap	0.050	1.3	1004.000	5.560	15
5.	Timber	0.012	720.0	1680.000	0.140	115

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

#### PARTICIÓN INTERIOR e=24 cm.

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1.	Plaster Building (Molded Dry	0.010	1250.0	1088.000	0.431	85
2.	Rock Wool	0.020	200.0	710.000	0.034	45
3.	Adobe	0.180	1600.0	1000.000	1.100	55
4.	Rock Wool	0.020	200.0	710.000	0.034	45
5.	Plaster Building (Molded Dry	0.010	1250.0	1088.000	0.431	85

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

### PUERTA CONTRACHAPADA e=5 cm.

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1.	Plywood	0.003	530.0	1400.000	0.140	85
2.	Rock Wool	0.005	200.0	710.000	0.034	45
3.	Air Gap	0.034	1.3	1004.000	5.560	15
4.	Rock Wool	0.005	200.0	710.000	0.034	45
5.	Plywood	0.003	530.0	1400.000	0.140	85

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

### VIDRIO DOBLE BAJO EMISIVO, CON CÁMARA DE AIRE

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1.	Glass Standard	0.006	2300.0	836.800	1.046	75
2.	Air Gap	0.030	1.3	1004.000	5.560	5
3.	Glass Standard	0.006	2300.0	836.800	1.046	75

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

### VIDRIO TRIPLE BAJO EMISIVO, CON CÁMARA DE AIRE

	Layer Name	Width	Density	Sp.Heat	Conduct.	Type
1.	Glass Standard	0.006	2300.0	836.800	1.046	75
2.	Air Gap	0.030	1.3	1004.000	5.560	5
3.	Glass Standard	0.006	2300.0	836.800	1.046	75
4.	Air Gap	0.030	1.3	1004.000	5.560	5
5.	Glass Standard	0.006	2300.0	836.800	1.046	75

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

## ANEXO 03

---

### RESULTADOS SIMULACIÓN

## RESULTADO INICIAL - DEMANDA ENERGÉTICA, SITUACIÓN DE PARTIDA

	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(Wh)	(Wh)	(Wh)
Jan	443676	0	443676
Feb	463314	0	463314
Mar	528032	0	528032
Apr	535981	0	535981
May	685711	0	685711
Jun	803798	0	803798
Jul	807036	0	807036
Aug	706400	0	706400
Sep	571049	0	571049
Oct	495257	0	495257
Nov	444984	0	444984
Dec	457967	0	457967
<b>TOTAL</b>	<b>6943206</b>	<b>0</b>	<b>6943206</b>
<b>PER M<sup>2</sup></b>	<b>192867</b>	<b>0</b>	<b>192867</b>
<b>Floor Area:</b>	<b>36.000 m2</b>		

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

## RESULTADO 1 - MEJORA DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS EN LOS CERRAMIENTOS.

	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(Wh)	(Wh)	(Wh)
Jan	26584	0	26584
Feb	33657	0	33657
Mar	39667	0	39667
Apr	39721	0	39721
May	60692	0	60692
Jun	88741	0	88741
Jul	86572	0	86572
Aug	67543	0	67543
Sep	48736	0	48736
Oct	36154	0	36154
Nov	28340	0	28340
Dec	29414	0	29414
<b>TOTAL</b>	<b>585820</b>	<b>0</b>	<b>585820</b>
<b>PER M<sup>2</sup></b>	<b>16273</b>	<b>0</b>	<b>16273</b>
<b>Floor Area:</b>	<b>36.000 m2</b>		

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

**RESULTADO 2 - INCORPORACIÓN DE AISLAMIENTO EN CUBIERTA, MUROS Y SUELO, SE ELIGIÓ 10CM POR FUNCIONALIDAD Y APROVECHAMIENTO DEL ESPACIO.**

	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(Wh)	(Wh)	(Wh)
Jan	18118	0	18118
Feb	26052	0	26052
Mar	30400	0	30400
Apr	31565	0	31565
May	50738	0	50738
Jun	77370	0	77370
Jul	70758	0	70758
Aug	55114	0	55114
Sep	38657	0	38657
Oct	29937	0	29937
Nov	23309	0	23309
Dec	24719	0	24719
<b>TOTAL</b>	<b>476736</b>	<b>0</b>	<b>476736</b>
<b>PER M<sup>2</sup></b>	<b>13243</b>	<b>0</b>	<b>13243</b>
<b>Floor Area:</b>	<b>36.000 m2</b>		

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

**RESULTADO 3 - SUPERFICIE Y PARÁMETROS MEJORADOS DE EN VENTANAS**

	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(Wh)	(Wh)	(Wh)
Jan	10963	0	10963
Feb	17421	0	17421
Mar	19861	0	19861
Apr	20201	0	20201
May	34937	0	34937
Jun	57852	0	57852
Jul	51981	0	51981
Aug	38978	0	38978
Sep	25642	0	25642
Oct	19121	0	19121
Nov	13914	0	13914
Dec	15223	0	15223
<b>TOTAL</b>	<b>326096</b>	<b>0</b>	<b>326096</b>
<b>PER M<sup>2</sup></b>	<b>9058</b>	<b>0</b>	<b>9058</b>
<b>Floor Area:</b>	<b>36.000 m2</b>		

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

**RESULTADO 4 - INCORPORACIÓN DE AISLAMIENTO EN LAS PUERTAS.**

	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(Wh)	(Wh)	(Wh)
Jan	3933	0	3933
Feb	6295	0	6295
Mar	6742	0	6742
Apr	6373	0	6373
May	9795	0	9795
Jun	18870	0	18870
Jul	17045	0	17045
Aug	12295	0	12295
Sep	6951	0	6951
Oct	5272	0	5272
Nov	4630	0	4630
Dec	5082	0	5082
<b>TOTAL</b>	<b>103283</b>	<b>0</b>	<b>103283</b>
<b>PER M<sup>2</sup></b>	<b>2869</b>	<b>0</b>	<b>2869</b>
<b>Floor Area:</b>	<b>3933</b>	<b>0</b>	<b>3933</b>

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

**RESULTADO 5 - INCORPORACIÓN DE INVERNADERO**

	HEATING	COOLING	TOTAL
MONTH	(Wh)	(Wh)	(Wh)
Jan	4198	0	4198
Feb	6555	0	6555
Mar	7093	0	7093
Apr	6637	0	6637
May	10065	0	10065
Jun	19125	0	19125
Jul	17332	0	17332
Aug	12608	0	12608
Sep	7255	0	7255
Oct	5463	0	5463
Nov	4741	0	4741
Dec	5287	0	5287
<b>TOTAL</b>	<b>106359</b>	<b>0</b>	<b>106359</b>
<b>PER M<sup>2</sup></b>	<b>2251</b>	<b>0</b>	<b>2251</b>
<b>Floor Area:</b>	<b>47.250 m2</b>		

(Fuente: Software Autodesk Ecotect 2010)

## ANEXO 04

---

### PRESUPUESTO GENERAL

**ANEXO 04 – 1**  
**COSTES ESTIMADOS DEL PROYECTO**

Para la estimación del costo de la vivienda se tomará como variables el costo por metro cuadrado de en la ciudad del Cusco publicado en el Diario El Peruano - Ministerio De Vivienda Y Construcción - RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 286-2015-VIVIENDA.

**VALORES POR PARTIDAS, POR METRO CUADRADO DE ÁREA TECHADA**  
**MONEDA EUROPEA (€)**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Precio m <sup>2</sup>	N° de veces	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	PRECIO TOTAL
<b>1</b>	<b>MUROS</b>							
1.1	Muro de Adobe 40 cm.	45,27						3.072,02
			1	3	-	3,05	9,15	
			1	5,6	-	2,55	14,28	
			1	9	-	2,1	18,90	
			1	2,6	-	2,55	6,63	
			1	5,6	-	2,1	11,76	
			1	2,6	-	2,1	5,46	
			1	0,8	-	2,1	1,68	
1.2	Labelrock "ROCKWOOL", espesor 10 mm, resistencia térmica 0,9 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 840 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3 y Euroclase A1 de reacción al fuego.	10,47	1					820,98
				30,75	-	2,55	78,41	
<b>2</b>	<b>CUBIERTAS</b>							
2.1	Teja curva de arcilla e=1cm y Vigüeta (madera aserrada de eucalipto ø 6")	5,59	1					285,43
				44,4	-	1,15	51,06	
2.2	Caña con torta de barro	3,84	2					392,14
				44,4	-	1,15	51,06	
2.3	Labelrock "ROCKWOOL", espesor 10 mm, resistencia térmica 0,9 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 840 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3 y Euroclase A1 de reacción al fuego.	10,47	1					534,60
				44,4	-	1,15	51,06	
<b>3</b>	<b>SUELO</b>							
3.1	Tierra compactada	1,24	1					50,52
				18	-	-	18,00	
				11,33	-	-	11,33	
				11,41	-	-	11,41	
3.2	Empedrado de 8"	2,42	1					98,59
				18	-	-	18,00	

				11,33	-	-	11,33	
				11,41	-	-	11,41	
3.3	Hormigón C:A - 1:4	11,93	1					486,03
				18	-	-	18,00	
				11,33	-	-	11,33	
				11,41	-	-	11,41	
3.4	Labelrock "ROCKWOOL", espesor 10 mm, resistencia térmica 0,9 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 840 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3 y Euroclase A1 de reacción al fuego.	10,47	1					426,55
				18	-	-	18,00	
				11,33	-	-	11,33	
				11,41	-	-	11,41	
3.5	Madera machihembrada e=4", con cámara de aire, listones de madera de 2" x 3" cada 50 cm.	6,44	1					262,37
				18	-	-	18,00	
				11,33	-	-	11,33	
				11,41	-	-	11,41	
<b>4</b>	<b>PUERTAS</b>							
4.1	Madera contraplacada e=5 cm	12,77	1					67,04
			1	2,1	0,9	-	1,89	
			2	2,1	0,8	-	3,36	
4.2	Labelrock "ROCKWOOL", espesor 1 mm, resistencia térmica 0,9 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 840 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3 y Euroclase A1 de reacción al fuego.	10,46						54,92
			1	2,1	0,9	-	1,89	
			2	2,1	0,8	-	3,36	
<b>5</b>	<b>VENTANA</b>							
5.1	Vidrio triple bajo emisivo de conductividad 1.80 W/m <sup>2</sup> K	50,51	3	0,8	0,8	-	96,98	96,98
<b>6</b>	<b>REVESTIMIENTO</b>							
6.1	Enlucido de yeso e=1cm.	13,16						2.322,21
			2	3	-	3,05	18,30	
			2	5,6	-	2,55	28,56	
			2	9	-	2,1	37,80	
			2	2,6	-	2,55	13,26	
			2	5,6	-	2,1	23,52	
			2	2,6	-	2,1	10,92	
			2	0,8	-	2,1	3,36	

			1	40,74	-	-	40,74	
<b>7</b>	<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS</b>							
7.1	Agua fría, corriente monofásica sin empotrar	5,47	1					168,37
				30,78	-	-	30,78	
<b>8</b>	<b>INVERNADERO</b>							
8.1	Invernadero de vidrio- espesor 6 mm	21,37						644,11
			1	9	1,9	-	17,10	
			1	11,34	-	1,15	13,04	
<b>TOTAL</b>								<b>€. 9.782,85</b>

**VALORES POR PARTIDAS, POR METRO CUADRADO DE ÁREA TECHADA  
MONEDA PERUANA (S/.)**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO m <sup>2</sup>	N° DE VECES	LARGO	ANCHO	ALTO	SUBTOTAL	PRECIO TOTAL
<b>1</b>	<b>MUROS</b>							
1.1	Muro de Adobe 40 cm.	157,90						10.715,09
1.2	Labelrock "ROCKWOOL", espesor 10 mm, resistencia térmica 0,9 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 840 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3 y Euroclase A1 de reacción al fuego.	36,52	1					2.863,66
<b>2</b>	<b>CUBIERTAS</b>							
2.1	Teja curva de arcilla e=1cm y Vigueta (madera aserrada de eucalipto ø 6")	19,49	1					995,16
2.2	Caña con torta de barro	13,40	2					1.368,41
2.3	Labelrock "ROCKWOOL", espesor 10 mm, resistencia térmica 0,9 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 840 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3 y Euroclase A1 de reacción al fuego.	36,52	1					1.864,73
<b>3</b>	<b>SUELO</b>							
3.1	Tierra compactada	4,31	1					175,59
3.2	Empedrado de 8"	8,43	1					343,44
3.3	Hormigón C:A - 1:4	41,60	1					1.694,78
3.4	Labelrock "ROCKWOOL", espesor 10 mm, resistencia térmica 0,9 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 840 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3 y Euroclase A1 de reacción al fuego.	36,52	1					1.487,84
3.5	Madera machihembrada e=4", con cámara de aire, listones de madera de 2" x 3" cada 50 cm.	22,48	1					915,84
<b>4</b>	<b>PUERTAS</b>							
4.1	Madera contraplacada e=5 cm	44,54	1					233,84

4.2	Labelrock "ROCKWOOL", espesor 1 mm, resistencia térmica 0,9 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 840 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3 y Euroclase A1 de reacción al fuego.	36,49						191,55
<b>5</b>	<b>VENTANA</b>							
5.1	Vidrio triple bajo emisivo de conductividad 1.80 W/m <sup>2</sup> K	176,20	3					338,30
<b>6</b>	<b>REVESTIMIENTO</b>							
6.1	Enlucido de yeso e=1cm.	45,89						8.097,75
<b>7</b>	<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS</b>							
7.1	Agua fría, corriente monofásica sin empotrar	19,07	1					586,97
<b>8</b>	<b>INVERNADERO</b>							
7.1	Invernadero de vidrio- espesor 6 mm	74,54						2.246,71
<b>TOTAL</b>								<b>S/. 34.119,66</b>

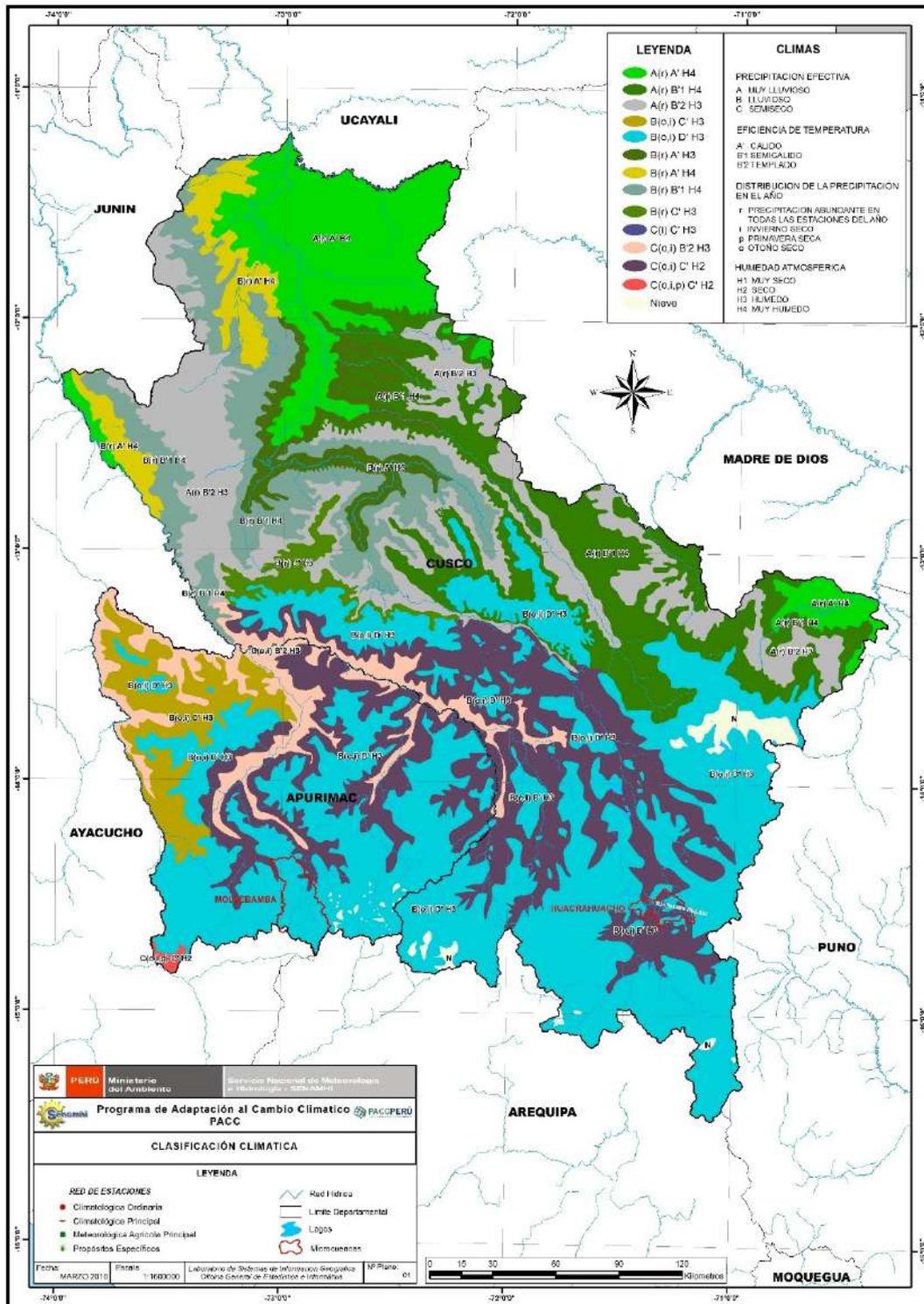
# ANEXO 05

---

## CARTOGRAFÍA



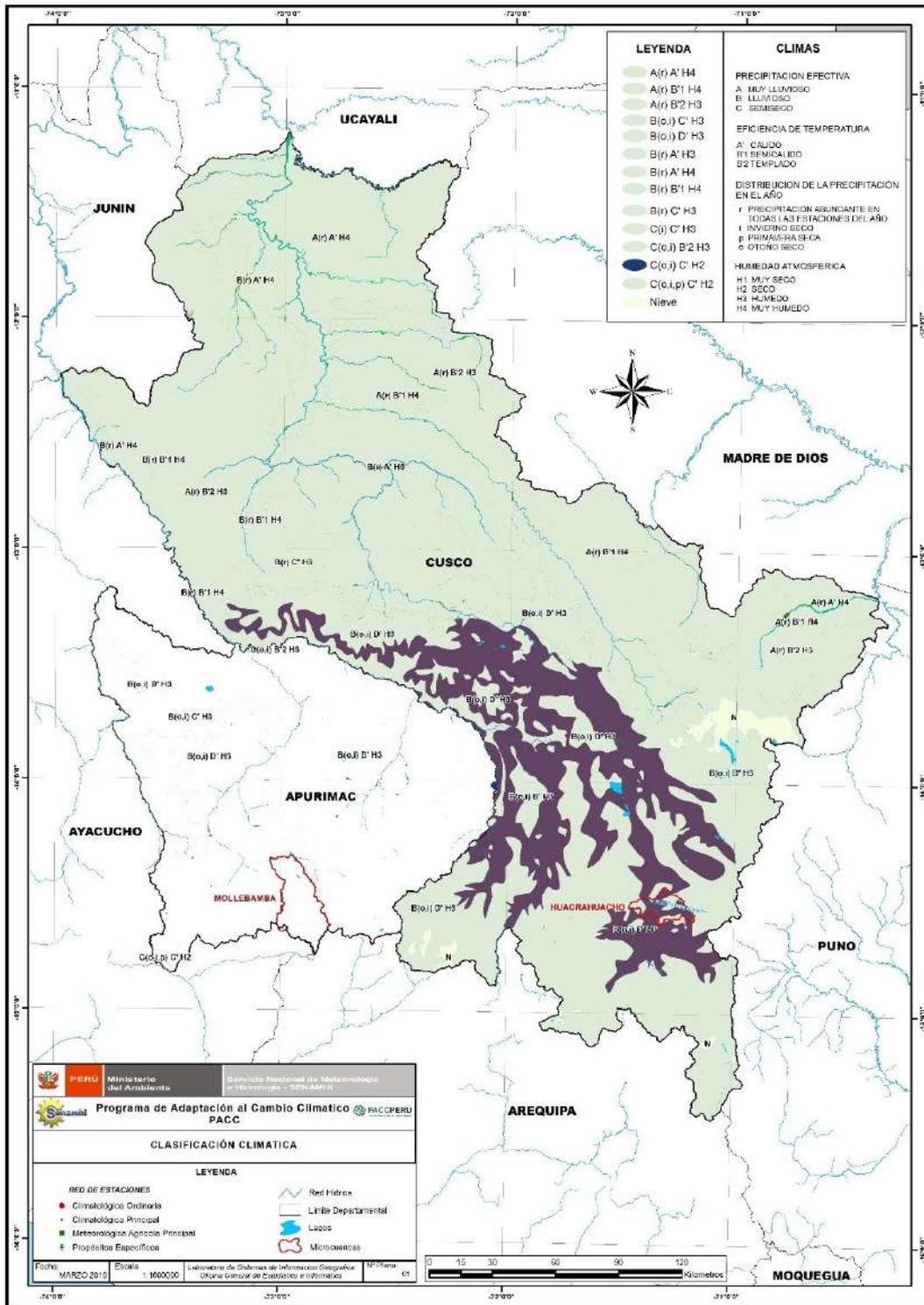
## MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DEL DEPARTAMENTO DE CUSCO



(Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010)

De acuerdo a la latitud, en el Perú debería existir solo un clima tropical de altas temperaturas; sin embargo, se observa una variedad de climas a medida que aumenta la altitud, esto se debe a la influencia de la cordillera de los andes.

**MAPA DE LA ZONA BIOCLIMÁTICA MESOANDINA, SUPERFICIE APROX. 14,6 % DE CUSCO DEPARTAMENTO.**



(Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010)

En la clasificación según Thornthwaite, el equivalente de la zona bioclimática Mesoandina es C(o,i)C'H2. La clasificación está de acuerdo a la base de datos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).