

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA VIVIENDA RURAL
IMPLEMENTADA CON UN SISTEMA TÉRMICO
ECOEFICIENTE DE ENERGÍA SOLAR – CHACHAPOYAS
2016”**

Tesis para obtener el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. JAIME OCAMPO MALQUI

Asesor:

Ing. LUCILA ARCE MEZA

**CHACHAPOYAS – AMAZONAS - PERÚ
2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA VIVIENDA RURAL
IMPLEMENTADA CON UN SISTEMA TÉRMICO
ECOEFICIENTE DE ENERGÍA SOLAR – CHACHAPOYAS
2016”**

Tesis para obtener el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Bach. JAIME OCAMPO MALQUI

Asesor:

Ing. LUCILA ARCE MEZA

**CHACHAPOYAS – AMAZONAS - PERÚ
2017**

DEDICATORIA

A mi Madre Nancy.

Por su amor y apoyo incondicional, por brindarme siempre lo mejor, por sus consejos y palabras de aliento, por estar siempre a mi lado y apoyarme en los momentos difíciles.

A mi Padre Jaime.

Por acompañarme fielmente en este camino de formación profesional, por su apoyo y ejemplo en valores para llegar a ser una persona de bien.

Jaime Ocampo Malqui

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por brindar la formación académica de calidad para afrontar los desafíos en la elaboración del presente trabajo de investigación y de la vida profesional futura.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, por compartir sus conocimientos, experiencias profesionales y por brindarnos una formación integral acorde a las competencias de hoy en día.

A la ingeniera Lucila Arce Meza, por su asesoría, sus consejos y seguimiento a lo largo de la elaboración del presente trabajo de investigación.

A los amigos y compañeros de la escuela profesional de ingeniería civil, por su colaboración y su amistad a lo largo de todos estos años de formación.

EL AUTOR

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. Jorge Luis Maicelo Quintana

RECTOR

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. María Nelly Luján Espinoza

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

JURADO DE TESIS

Ing. Jorge Chávez Guivin

PRESIDENTE

Dr. Juan Manuel Garay Román

SECRETARIO

Ing. Elí Pariente Mondragón

VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Jaime Ocampo Malqui, bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, identificado con DNI N°72219080.

Declaro bajo juramento que:

- Soy el autor de la tesis titulada: “ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA VIVIENDA RURAL IMPLEMENTADA CON UN SISTEMA TÉRMICO ECOEFICIENTE DE ENERGÍA SOLAR – CHACHAPOYAS 2016”, la misma que presento para obtener el título profesional de INGENIERO CIVIL.
- La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
- La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
- La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mis acciones se deriven, sometiéndonos a la normativa vigente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Chachapoyas, Julio del 2017.

Bach. Jaime Ocampo Malqui

DNI N° 72219080

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. OBJETIVOS	6
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
III. MARCO TEÓRICO	7
Antecedentes de la investigación	7
Bases teóricas	10
Definición de términos básicos	41
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	43
4.1. Descripción de la investigación	43
4.2. Diseño de la investigación	43
4.3. Ubicación del proyecto	43
4.4. Método descriptivo	45
4.4.1. Características de la zona	45
4.5. Método analítico	48
4.5.1. Análisis de las características climatológicas de la zona	48
4.5.1.1. Variación de la Temperatura.	48
4.5.1.2. Humedad relativa	49
4.5.1.3. Precipitaciones	49
4.5.2. Zonificación bioclimática del Perú	50
4.5.3. Análisis de la orientación solares	50
4.5.4. Asoleamiento, horas de sol del terreno proyectado.	52
4.5.5. Análisis de envolventes	54
4.5.6. Análisis de térmico	57
4.5.7. Análisis de estabilidad	59

4.5.8. Análisis de la distribución de áreas propuestas	62
4.6. Método de diseño con sistemas pasivos	63
4.6.1. Método de Mahoney	63
4.6.2. Consideraciones del confort térmico para el diseño	67
4.6.3. Diseño de muros Trombe	68
4.6.4. Cálculo de condensaciones superficiales.....	70
V. RESULTADOS	72
5.1. Características físicas del terreno proyectado.	72
5.1.1. Características del suelo.	72
5.1.2. Condiciones de topografía y áreas.....	73
5.2. Diseño de los sistemas pasivos de aprovechamiento térmico.	73
5.2.1. Confort térmico para el diseño	73
5.2.2. Diseño con tablas de Mahoney	75
5.2.3. Selección de envolventes exteriores:.....	78
5.2.4. Cálculo de la transmitancia térmica por envolventes:	80
5.2.5. Dimensionamiento de muro Trombe:.....	83
5.2.6. Verificación de condensaciones superficiales:.....	84
5.3. Diseño de la distribución ecoeficiente	73
5.3.1. Dimensionamiento por estabilidad:	85
5.3.2. Orientación solar optima:	86
5.3.3. Arquitectura sostenible y funcionalidad propuesta	87
5.4. Determinación el desempeño térmico de la vivienda rural propuesta.....	91
5.4.1. Pérdidas de calor por envolventes..	95
5.4.2. Temperatura interior del diseño propuesto.....	95
5.4.3. Proyección del diseño propuesto en 3D.	97
VI. DISCUSIÓN.....	99
VII. CONCLUSIONES	102
VIII. RECOMENDACIONES.....	103
A las autoridades:	103
A los ingenieros consultores y constructores:	103

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas:	103
A los docentes universitarios:.....	103
A los estudiantes de la escuela profesional de ingeniería civil:	103
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 01. Factor suelo (S).....	14
Tabla N° 02. Factor de uso (U).....	14
Tabla N° 03. Coeficiente sísmico (C).....	14
Tabla N° 04. Relación de actividades y sus niveles de metabolismo.....	24
Tabla N° 05. Características típicas de viviendas aledañas al terreno	47
Tabla N° 06. Zona bioclimática del Perú	50
Tabla N° 07. Ubicación de provincia por zona bioclimática en Amazonas	50
Tabla N°08. Angulo de diseño de protección según orientación de fachada	54
Tabla N°09. Resistencia térmica superficiales el exterior e interior de envolventes en contacto con el exterior en m^2k/w	57
Tabla N°10. Valores máximos de transmitancia térmica (U).....	57
Tabla N°11. Límites de confort según Mahoney.....	66
Tabla N°12. Indicadores para el diagnóstico según Mahoney.	66
Tabla N°13. Grados de humedad según Mahoney.	66
Tabla N°14. Área del muro Trombe.....	69
Tabla N°15. Dimensionamiento de muro Trombe.	69
Tabla N°16. Valores de t_i por tipo de uso de edificaciones.....	71
Tabla N°17. Límites de confort óptimo calculado al año 2016.....	74
Tabla N°18. Introducción de datos meteorológico a las tablas de Mahoney.	75
Tabla N°19. Condiciones de humedad y confort obtenidos.	76
Tabla N°20. Indicadores de Mahoney para el diseño.....	76
Tabla N°21. Recomendaciones de mahoney para aplicar en el diseño.	77
Tabla N°22. Cálculo de la transmitancia térmica en envolvente de pisos.....	80

Tabla N°23. Cálculo de la transmitancia térmica en envolvente de techos	81
Tabla N°24. Cálculo de la transmitancia térmica en envolvente de muro solido.....	81
Tabla N°25. Cálculo de la transmitancia térmica en envolvente para puertas	82
Tabla N°26. Cálculo de la transmitancia térmica para ventanas y mamparas.....	82
Tabla N°27. Cuadro comparativo de transmitancia máxima permisible y la calculada.....	82
Tabla N°28. Cálculo de la transmitancia térmica de muro Trombe	84
Tabla N°29. Determinación de la temperatura del ambiente interior.....	95
Tabla N°30. Aporte de calor por envoltentes	95
Tabla N°31. Temperatura del ambiente interior.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N°01. Zonas sísmicas del Perú.....	15
Figura N°02. Elementos de muro.	16
Figura N°03. Relación entre longitud y espesor del muro	17
Figura N°04. Relación entre altura y espesor del muro.....	17
Figura N°05. Reforzamiento vertical en muros de adobe	18
Figura N°06. Muro de adobe terminado.....	19
Figura N°07. Sección típica de techo simple.....	20
Figura N°08. Equilibrio térmico del cuerpo humano.	25
Figura N°09. Confort térmico: temperatura vs humedad relativa del aire.	26
Figura N°10. Confort térmico: temperatura vs velocidad del aire.	27
Figura N°11. Confort térmico: temperatura del aire vs temperatura superficial.	28
Figura N°12. Diagrama de Givoni.....	29
Figura N°13. Conducción de calor.	33
Figura N°14. Conducción de calor	34
Figura N°15. Comportamiento del viento.	35
Figura N°16. Componentes del muro Trombe en verano.....	36
Figura N°17. Componentes del muro Trombe en invierno.	37
Figura N°18. Distribución de calor interno.	38
Figura N°19. Ubicación del AA. HH. Señor de los milagros y terreno propuesto.....	44
Figura N°20. Vista norte del terreno.	45
Figura N°21. Vista sur del terreno.....	45
Figura N°22. Ubicación urbana de la ciudad de Chachapoyas.....	47

Figura N°23. Variación promedio mensual de la temperatura al 2016	48
Figura N°24. Variación promedio mensual de la humedad relativa al 2016.....	49
Figura N°25. Gráfica de variación de precipitaciones al 2016.....	49
Figura N°26. Trayectoria idealizada del sol.	51
Figura N°27. Grafico estereográfica solar del terreno proyectado.....	53
Figura N°28. Orientación predominante de las ventanas.	53
Figura N°29. Envolvente tipo muro horizontal.	55
Figura N°30. Envolvente tipo muro inclinado.	56
Figura N°31. Envolvente tipo losas y pisos.....	56
Figura N°32. Dimensiones de muro de adobe.....	60
Figura N°33. Curvas para la determinación de esfuerzo admisible en muros portantes. ...	61
Figura N°34. Diagrama funcional de la vivienda propuesta.	63
Figura N°35. Diagrama de área de confort.....	67
Figura N°36. Funcionalidad del muro Trombe.	68
Figura N°37. Diagrama psicométrico para temperatura del rocío.....	71
Figura N°38. Curva de resistencia del suelo.	72
Figura N°39. Clasificación y condiciones físicas del terreno.....	72
Figura N°40. Envolvente propuesta para pisos.	78
Figura N°41. Envolvente propuesta para muros y vanos.	79
Figura N°42. Envolvente propuesta.....	80
Figura N°43. Sección transversal de muro Trombe diseñado	83
Figura N°44. Gráfico de movimiento solar con relación a la vivienda	86
Figura N°45. Propuesta de arquitectura sostenible primer nivel.....	87
Figura N°46. Propuesta de arquitectura sostenible segundo nivel.	88
Figura N°47. Propuesta de arquitectura sostenible corte A-A.....	89

Figura N°48. Propuesta de arquitectura sostenible corte B-B.....	89
Figura N°49. Propuesta de arquitectura sostenible corte D-D.....	90
Figura N°50. Pérdida de calor de envolvente en habitación N° 01.....	91
Figura N°51. Pérdida de calor de envolvente en habitación N° 02.....	91
Figura N°52. Pérdida de calor de envolvente en sala – comedor.....	92
Figura N°53. Pérdida de calor de envolvente en circulación.....	92
Figura N°54. Pérdida de calor de envolvente en baño de visitas.....	92
Figura N°55. Pérdida de calor de envolvente en recepción.....	93
Figura N°56. Pérdida de calor de envolvente en cocina.....	93
Figura N°57. Pérdida de calor de envolvente en habitación N° 03.....	93
Figura N°58. Pérdida de calor de envolvente en habitación N° 04.....	94
Figura N°59. Pérdida de calor de envolvente en circulación.....	94
Figura N°60. Pérdida de calor de envolvente en lavadero.....	94
Figura N°61. Variación de la temperatura del ambiente interior por mes.....	96
Figura N°62. Vista frontal del diseño.....	97
Figura N°63. Vista de la fachada del diseño.....	97
Figura N°64. Vista lateral del diseño.....	98
Figura N°65. Vista interior sala – comedor.....	98
Figura N°66. Comparativa de temperaturas medias interiores.....	101

RESUMEN

En los últimos años la provincia de Chachapoyas se ha visto expuesta a un incremento de fenómenos climatológicos variados, provocando efectos como cambios repentinos de temperatura, fuertes vientos y precipitaciones prolongadas, lo que ha ocasionado un problema integral para la salud, la economía y el bienestar de la población, la misma que se ha visto vulnerable porque las viviendas en la zona no brindan el refugio esperado ya que no están del todo preparadas y no cuentan con soluciones técnicamente aplicables a bajo costo que mejoren el confort y comportamiento de las viviendas ante los efectos meteorológicos. La presente investigación consistió en diseñar un modelo de vivienda rural térmicamente ecoeficiente, aprovechando los niveles de temperatura de la zona para brindar confort al usuario dentro de la misma, utilizando métodos de diseño poco convencionales, como las tablas de Mahoney, la normativa peruana EM.110 e incorporación de sistemas pasivos; todos ellos ajustados a las características socioeconómicas y ambientales de la localidad, obteniendo así un diseño óptimo el cual se encuentra dentro de los límites teóricos de comodidad y seguridad según la metodología utilizada, e implementada con lineamientos del diseño ecológico para el aprovechamiento de los recursos naturales y el menor consumo de energías

Palabras Claves: Vivienda, diseño ecoeficiente, diseño térmico, diseño sostenible.

ABSTRACT

In recent years the province of Chachapoyas has been exposed to an increase in various climatological phenomena, causing effects such as sudden changes in temperature, strong winds and prolonged rainfall, which has caused an integral problem for health, economy and welfare of the population, which has been vulnerable because the houses in the area do not provide the shelter expected since they are not fully prepared and do not have technically applicable low cost solutions that improve the comfort and behavior of homes before the meteorological effects. The present research consisted of designing a model of rural housing that is thermally ecoefficient, taking advantage of the temperature levels of the area to provide comfort to the user, using unconventional design methods, such as the Mahoney tables, the Peruvian EM regulations. 110 and incorporation of passive systems; All of them adjusted to the socioeconomic and environmental characteristics of the locality, thus obtaining an optimal design which is within the theoretical limits of comfort and safety according to the methodology used, and implemented with ecological design guidelines for the use of natural resources and the lower consumption of energy

Key Words: Housing, eco-efficient design, thermal design, sustainable design.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú se caracteriza por tener una gran diversidad climatológica en su territorio, asimismo en las diversas regiones naturales se producen condiciones climáticas variadas por distintos factores como, la ubicación geográfica, la cordillera de los andes, la cercanía a la línea ecuatorial, las corrientes marítimas, etc., sin embargo, existen fenómenos naturales que provocan más allá de simples impactos imperceptibles y se convierten en una realidad a la que es necesario adaptarse, el más reconocido en los últimos años son los friajes o bajas temperaturas que se producen en ciertos periodos del año, y que afectan en su gran mayoría a las regiones de la sierra del Perú.

Los friajes, son fenómenos climatológicos cuya característica es el descenso de las temperaturas y que generalmente provocan fuertes vientos, en el Perú los friajes de mayor intensidad principalmente se desarrollan en la sierra sur, en donde las temperaturas descienden de forma extrema, sin embargo, las regiones de la sierra norte también se ven afectadas de una manera cuantitativamente menor, pero que de igual forma va creando impactos en la población.

En la región Amazonas, las zonas rurales se ven afectadas moderadamente por las bajas temperaturas, que usualmente son por periodos del año (generalmente de agosto – enero), en donde uno de los sectores más afectados es vivienda, ya que no están acondicionadas para brindar la protección y calidad necesaria al propietario, por lo que mejorar esas condiciones es fin de la presente investigación.

En la provincia de Chachapoyas y sus distritos existe gran cantidad de población rural, se les considera como tal, por la actividad que realizan, número de habitantes y principalmente por el tipo de material que está conformada sus viviendas, como las localidades de Huancas, La jalca, San francisco del yeso; y en la ciudad de Chachapoyas existen sectores con mayor concentración de población con viviendas rurales, por ejemplo, pueblo joven dieciséis de octubre, AA.HH Santo Toribio de Mogrovejo, AA.HH. Señor de los milagros, El molino, entre otros.

Actualmente en la ciudad de Chachapoyas y sus distritos, no existe en el mercado inmobiliario ofertas ni tendencias de viviendas que presenten sistemas térmicos o sostenibles para las zonas rurales o externas al área urbana, que permitan optimizar la energía y mejorar la eficiencia de la edificación.

Según la organización meteorológica mundial (OMM), el Perú cuenta con 28 de los 32 climas reconocidos en el mundo, lo cual proporcionaría diversas alternativas para diseños más sostenibles, sin embargo, en la práctica no se contempla y muy pocas veces se aplica las recomendaciones de la novedosa normativa EM.110. del Reglamento Nacional de Edificaciones (Confort térmico y lumínico) introducida en el año 2014, es decir diseñamos y construimos sin tener en cuenta el clima ni eficiencia energética, promoviendo el consumo de energías contaminantes y costosas.

Según la investigación realizadas por la ONG CARE Perú, es necesario implementar el confort térmico en las viviendas del sector rural para enfrentar las temperaturas bajas y mejorar las condiciones de calidad de vida de la población, con lo que se tendrá efectos positivos en la salud mental de los usuarios, y mejorará las prácticas de emprendimiento de los mismos.

Otro aspecto fundamental en la elaboración de la presente investigación es brindar un enfoque de sostenibilidad al diseño de viviendas, ya que en los últimos años el cuidado del medio ambiente es un tema de interés global; el resguardo, la valoración de los recursos naturales y la implementación de nuevas técnicas para la utilización de energías renovables son aspectos necesarios para tener en cuenta al momento de plasmar un proyecto de ingeniería civil. la ciencia moderna ha comprendido que existe un vínculo estrecho entre el medio ambiente y la sociedad, buscando que entre éstas exista una relación de sostenibilidad, aplicándose hoy en día nuevas tecnologías más ecológicas al servicio de la población.

La ingeniería civil como parte de las áreas científicas, no es ajena a esta nueva visión de tecnologías verdes, por lo que es importante proponer y renovar los alcances, procedimientos y métodos que planteamos a nuestros proyectos, en este caso puntual, proyectos destinados a viviendas; las cuales puedan cumplir con la demanda requerida por los usuarios y que estén comprometidas a un ahorro de energías.

Dentro de los objetivos de la presente investigación, es diseñar un modelo estándar de vivienda ecoeficiente térmica, que cumplirá con ciertos parámetros de calidad que beneficiaran al posible usuario, involucrando factores sociales, ambientales, económicos, entre otros; incluyendo criterios constructivos novedosos para todo el periodo de vida útil de la edificación.

En la investigación, se analizó la variación de la temperatura de la zona obteniendo un sistema que permita aprovecharla óptimamente, utilizando la metodología de Mahoney y recomendaciones de la normativa vigente, para brindar confort dentro de los ambientes y mejores condiciones de iluminación natural.

Para hallar la conformidad del diseño se verificó el posible comportamiento de la temperatura del interior de la vivienda de acuerdo con ciertas variaciones de temperatura que se puedan presentar en el exterior, con la finalidad de que la propuesta tenga un comportamiento térmico ecoeficiente óptimo a lo largo del periodo de servicio para el cual fue proyectado.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer el diseño de una vivienda rural con geometría ecoeficiente e incorporada con un sistema térmico pasivo en base al aprovechamiento de energía solar para finalmente verificar su desempeño.

Objetivos específicos

- a). Identificar las condiciones del terreno que permitan proyectar viviendas de adobe en la zona.
- b). Diseñar los sistemas pasivos de aprovechamiento térmico de una vivienda rural.
- c). Diseñar la distribución ecoeficiente de una vivienda rural.
- d). Determinar el desempeño térmico de la vivienda rural propuesta.

III. MARCO TEÓRICO

Antecedentes de la investigación

En los últimos años se ha hecho notar con mayor importancia la incorporación de nuevos sistemas en el diseño de edificaciones, con la finalidad de elevar las condiciones de calidad de vida al usuario, mejorando el rendimiento de los edificios sin grandes costos adicionales.

Uno de los aspectos en que más han abarcado los investigadores, es en brindar soluciones constructivas amigables al entorno, es decir, que los edificios se adapten al medio en el que se desarrollan y puedan aprovechar las condiciones ambientales del exterior convirtiéndolas en energías que sirvan al interior de una forma sostenible y equilibrada.

La temática de edificios sostenibles y térmicos se ha tratado desde hace décadas atrás, sin embargo, hasta la actualidad no ha dejado de ser un aspecto novedoso, ya que hoy en día existe un afán por la conservación del planeta lo que ha permitido desarrollar grandes investigaciones en esta área.

- En el año 2007, en la ciudad de México fue presentada por el Dr. José Luis Palacios Blanco el libro denominado “La casa ecológica leonesa”; en donde como tema principal de la publicación el autor hace referencia a la importancia de implementar viviendas ecoeficientes en las ciudades, además se redacta ciertos criterios a tomar en cuenta en el diseño de los proyectos de este tipo de edificaciones, por ejemplo, el aprovechamiento de las características climatológicas de la zona en estudio, el uso de materiales no convencionales, la aplicación de tecnologías nuevas y entre otras herramientas.

Finalmente, la publicación culmina con la elaboración del diseño de un prototipo de casa ecológica, la cual será ubicada en la ciudad de León – Guanajuato México.

Palacios (2007) señaló:

A través del diseño adecuado de los espacios es posible, evitar o disminuir el uso de la climatización artificial; así como aprovechar ampliamente la iluminación natural durante el día. (p.94)

- En el año 2013, en la ciudad de Valdivia - Chile, fue presentada en la Universidad Austral de Chile, facultad de ciencias de la ingeniería, escuela de ingeniería de la construcción, la tesis denominada: “Análisis y recomendaciones para una construcción sustentable en edificios en general” elaborada por Pamela Carolina Casas Barria, cuyo objetivo principal es desarrollar soluciones referentes a la construcción sostenible en Chile.

La investigación plasmada en la tesis hace énfasis en la necesidad de implementar tecnologías para disminuir el uso de energías no renovables en el sector construcción en Chile, ya que dicho rubro es uno de los principales impulsores de la economía en ese país.

En base a los problemas detectados la investigación concluye brindando soluciones aplicables para una construcción más sostenible basada en la realidad chilena, en las cuales se considera como pilar fundamental al diseño bioclimático, el asoleamiento y almacenamiento energético.

Casas Barria (2013) afirmó:

Se deben incorporar materias primas o materiales que no provengan de ecosistemas sensibles, buscar materiales sustitutos a los tradicionales, estudiar nuevas tecnologías con respecto a estos para que exista una amplia gama a la hora de la elección, pero siempre poniendo atención a que estos no sean perjudiciales para quienes lo manipulan y usuarios. Usar materiales que sean de larga vida útil, que posteriormente se puedan reciclar, productos no tóxicos, pero que a la vez no sean afectadas sus propiedades y característica. (p.132).

- La Pontificia Universidad Católica del Perú, en el grupo de apoyo al sector rural (GRUPO PUPC) viene realizando proyectos relacionados con la investigación y tecnología aplicada, fomentando el apoyo para el desarrollo de las comunidades campesinas.

Específicamente con su proyecto: “Casa Ecológica”, van desarrollando y plasmando nuevos sistemas que contribuyen con la investigación de viviendas sostenibles y térmicas en el país, según el portal web del Grupo PUCP, dicho proyecto consiste en implantar viviendas técnicamente saludables con el medio

ambiente, cuyos procesos de diseño sean innovadores, que mejoren las condiciones de los usuarios ante bajas temperaturas, y que sean económicas viables para el sector rural.

Asimismo, las viviendas que se proyectan son utilizadas como centros demostrativos que a través de diferentes actividades de difusión van captando el interés de la población por participar en la aplicación de estos nuevos sistemas.

- Ante la ola de extremo friaje que viene golpeando a la sierra peruana en los últimos años, se desarrolló en la región de Huancavelica el Proyecto Casamanta Qarkanakusum, financiado por el departamento de ayuda humanitaria de la unión europea, dicho proyecto, se basó en desarrollar acciones de preparación y modificación de las viviendas rurales de la zona, para que adopten un comportamiento térmico que brinde mayor confort a las familias ubicadas por encima de los 3500 m.s.n.m.

Se utilizaron tecnologías aplicables a toda la estructura, siendo el más resaltante un invernadero familiar, el cual funciona como un sistema de calentador diurno, consta de una estructura simple forrada con policarbonato transparente o plástico, este elemento está encargado de transferir calor generado durante todo el día hacia los dormitorios por medio del fenómeno físico de convección o también llamado intercambio de aire caliente y frío entre dos espacios.

- El ministerio de vivienda construcción y saneamiento, ha impulsado el uso de energías limpias para construcción de viviendas en muchos de sus artículos y ha planteado la propuesta de edificaciones térmicas y bioclimatizadas.

En el artículo titulado “Normatividad para edificaciones bioclimatizadas”, cuyo expositor fue el arquitecto Alejandro Gómez Ríos, se fundamenta la importancia de convertir las construcciones sostenibles en una práctica común, asimismo hace referencia a profundizar las normativas para incluir más el diseño de edificaciones pasivas. A todo esto, se puede destacar los dos puntos más importantes:

Primero: Se realiza un análisis de la climatología en el Perú, indicando que el clima es un recurso que debería ser aprovechado para los proyectos de edificaciones principalmente en zonas pobres, ante esto los diseños deberían incorporar nuevas tendencias y técnicas del control climático.

Segundo: Incluye los beneficios que traerá implantar el modelo térmico bioclimatizado de edificaciones a las poblaciones rurales de nuestro país, en donde se destacan datos importantes de disminución de contaminación y de uso de energías no renovables, además todo este plan de uso se entiende que traerá un beneficio económico, que permitirá mejorar la calidad de vida a las poblaciones de ingresos.

Bases teóricas

La ideología del diseño de viviendas ecoeficientes y térmicas surge por la necesidad tecnológica moderna de la ingeniería civil, la cual busca ir más allá de la estructuración y cargas e implementar tecnologías ecológicas a las construcciones, convirtiendo a los proyectos de hoy en día en grandes obras sostenibles al medio ambiente.

En tal sentido, se han planteado diversas teorías y métodos, las cuales pueden ser utilizadas para diseñar diferentes tipologías de edificaciones, que se adecuen a las necesidades y ambientes para los cuales fueron proyectados.

La vivienda:

La vivienda se considera como un elemento fabricado artificialmente, cuyo fin principal es brindarle refugio y protección al ser humano ante las inclemencias del medio ambiente. Contiene aspectos arquitectónicos que se adecuan a las necesidades básicas de los usuarios, así como también brindan condiciones de privacidad y seguridad a cada integrante del núcleo familiar.¹

Existe variedad de tipologías de viviendas, las cuales pueden clasificarse por el número de habitantes, por las dimensiones del inmueble y sobre todo por el tipo material que se componen. En cuanto para la presente investigación se priorizará el estudio a las viviendas rurales.

Se define como viviendas rurales, principalmente porque están compuesta con materiales no industrializados, es decir, aprovechan el uso de los recursos locales para su construcción, como por ejemplo madera, tierra, paja.

1.- Fuente: *De conceptos* (2016). *Concepto de vivienda*.

Recuperado de: <http://deconceptos.com/ciencias-juridicas/vivienda>

Población:

Se define como el conjunto de personas que habitan en la misma área o espacio geográfico; para la presente investigación se analizara la población de la provincia de Chachapoyas, y específicamente la población del AA. HH Señor de los milagros, ya que es el área de influencia del proyecto.

En base al Plan estratégico institucional (PEI) elaborado por la Municipalidad Provincial de Chachapoyas (2015), La provincia tiene una densidad poblacional de 12.25 personas/ km², y el distrito de Chachapoyas contiene una población aproximada de 28,731 habitantes.

Población rural:

Para identificar al sector rural, es necesario relacionar los patrones de asentamiento y dispersión de la población dentro de un área geográfica

Se considera como sector urbano, aquellos en los que están concentrados y agrupados contiguamente en un mínimo de 100 viviendas, así como también se incluyen las capitales de los distritos (aunque estos no cumplan dichas condiciones). se considera como sector rural, aquellos que tienen menos de 100 viviendas agrupadas contiguamente, o que tenga más de 100 viviendas dispersas en toda el área de la localidad a la que corresponden.

Según el censo 2007 (INEI), la concentración poblacional dentro del sector urbano se incrementó en un 38.9%, respecto a años anteriores (periodo intercensal), y por el contrario la población rural decreció en 3.3% durante dicho periodo. a pesar que el sector urbano tiene una tasa de crecimiento población anual en aumento, mientras que el sector rural tenga una tasa decreciente, se considera a la región amazonas como una de las áreas geográficas con mayor concentración de población rural; el censo del año 2007 data que el sector rural contiene el 55.8% y el sector urbano el 44.2 % de la población de la región, por lo que se esperaba que hasta el año 2016 la población urbana haya superado a la rural y sea mayor porcentualmente.²

2.- Fuente: *Municipalidad Provincial de Chachapoyas (2013). Plan de desarrollo económico local de la provincia de Chachapoyas, pp.43-48.*

Viviendas rurales:

Otro tipo de clasificación para los sectores de una localidad es por el tipo de vivienda de la población, en los cuales se considera como vivienda rural a la que están construidas en gran parte o totalmente con materiales no industrializados, mientras que las viviendas de material noble son las que están compuestas por materiales prefabricados e industrializados.

Es importante mencionar que en las ciudades existen áreas con mayor concentración de viviendas rurales, ya que numéricamente son superiores a las de otro tipo, como ejemplo en la ciudad de Chachapoyas, existen sectores como, El molino, AA.HH. Santo Toribio de Mogrovejo, AA.HH. Señor de los milagros (parte alta), Pueblo joven dieciséis de octubre; AA. HH Pedro Castro Alva, en los que sobresale la presencia de viviendas rurales (Edificadas a base de adobe), estas áreas están consideradas como población urbana con viviendas rurales.

Viviendas de adobe:

Adobe:

El adobe es un bloque macizo elaborado de la mezcla de tierra y paja, puesto a secar sin cocer, al cual se le puede agregar cualquier otro material para mejorar su estabilidad y resistencia.³

Los requisitos que debe cumplir el adobe según el Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.080 (adobe), en su artículo N° 04 (unidad o bloque de adobe); son las siguientes:

- La gradación del suelo debe aproximarse a los siguientes porcentajes: arcilla 10-20%, limo 15-25% y arena 55- 70%, no debiéndose utilizar suelos orgánicos. El adobe debe ser macizo y sólo se permite que tenga perforaciones perpendiculares a su cara de asiento, cara mayor, que no representen más de 12% del área bruta de esta cara. El adobe deberá estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

3.- Fuente: Reglamento Nacional de edificaciones. Norma E.080 Adobe.

- Los adobes podrán ser de planta cuadrada o rectangular y en el caso de encuentros con ángulos diferentes de 90°, de formas especiales. Sus dimensiones deberán ajustarse a las siguientes proporciones:
 - a) Para adobes rectangulares el largo sea aproximadamente el doble del ancho.
 - b) La relación entre el largo y la altura debe ser del orden de 4 a 1.
 - c) En lo posible la altura debe ser mayor a 8 cm.
- Para su elaboración se debe remojar el suelo y retirar las piedras mayores de 5mm y otros elementos extraños. Mantener el suelo en reposo húmedo durante 24 horas. Secar los adobes bajo sombra.

Comportamiento sísmico de las edificaciones de adobe:

El Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.080 (adobe), en su Artículo N° 05 (comportamiento sísmico de las edificaciones de adobe); brinda las siguientes recomendaciones:

Las fallas de las estructuras de adobe no reforzadas, debidas a sismos, son frágiles. Usualmente la poca resistencia a la tracción de la albañilería produce la falla del amarre de los muros en las esquinas, empezando por la parte superior; esto a su vez aísla los muros unos de otros y conduce a una pérdida de estabilidad lateral, produciendo el desplome del mismo fuera de su plano.

Si se controla la falla de las esquinas, entonces el muro podrá soportar fuerzas sísmicas horizontales en su plano las que pueden producir el segundo tipo de falla que es por fuerza cortante. En este caso aparecen las típicas grietas inclinadas de tracción diagonal. Las construcciones de adobe deberán cumplir con las siguientes características generales de configuración:

- a) Suficiente longitud de muros en cada dirección, de ser posible todos portantes.
- b) Tener una planta que tienda a ser simétrica, preferentemente cuadrada.
- c) Los vanos deben ser pequeños y de preferencia centrados.

La fuerza sísmica horizontal en la base para las edificaciones de adobe se determinará con la siguiente expresión:

$$H = S U C P$$

Donde:

S: Factor de suelo.

U: Factor de uso.

C: Coeficiente sísmico.

P: Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50% de la carga viva.

Tabla N° 01. Factor suelo (S).

Tipo	Descripción	Factor (S)
I	Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible $\geq 3\text{Kg/cm}^2$	1.0
II	Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible $\geq 1\text{Kg/cm}^2$	1.2

Fuente: RNE

Tabla N° 02. Factor de uso (U).

Tipo de edificaciones	Factor (U)
Colegios, postas médicas, locales comunales, locales públicos.	1.3
Viviendas y otras edificaciones comunes.	1.0

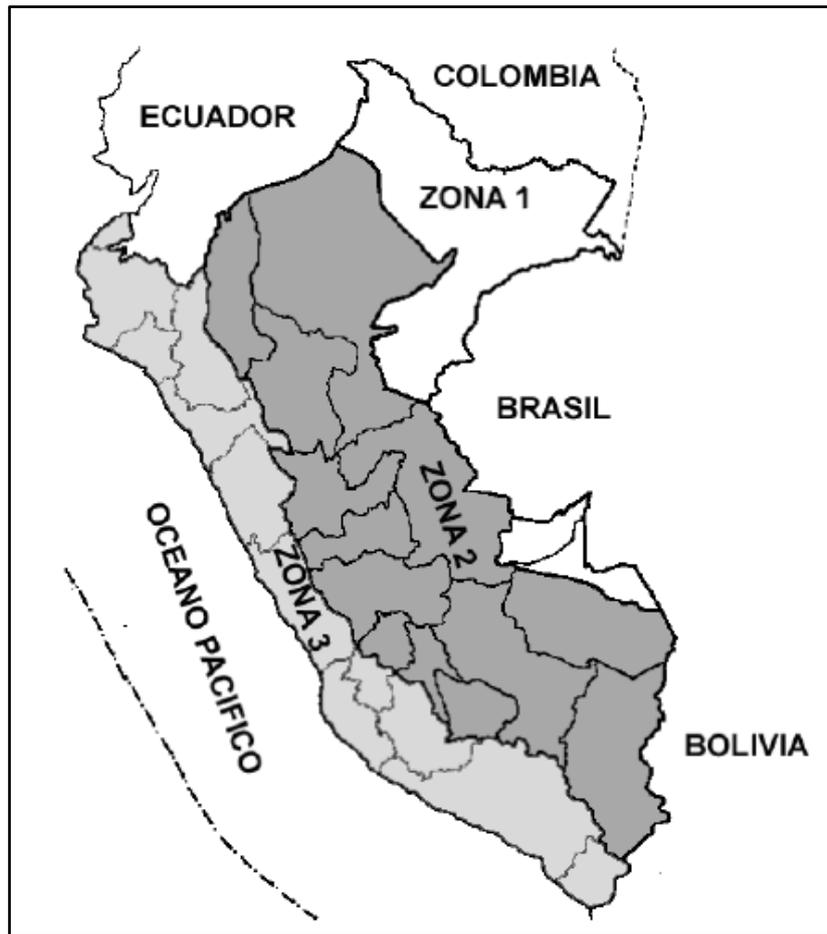
Fuente: RNE

Tabla N° 03. Coeficiente sísmico (C).

Zona sísmica	Coeficiente sísmico (C)
3	0.20
2	0.15
1	0.10

Fuente: RNE

Figura N°01. Zonas Sísmicas del Perú.



Fuente: RNE.

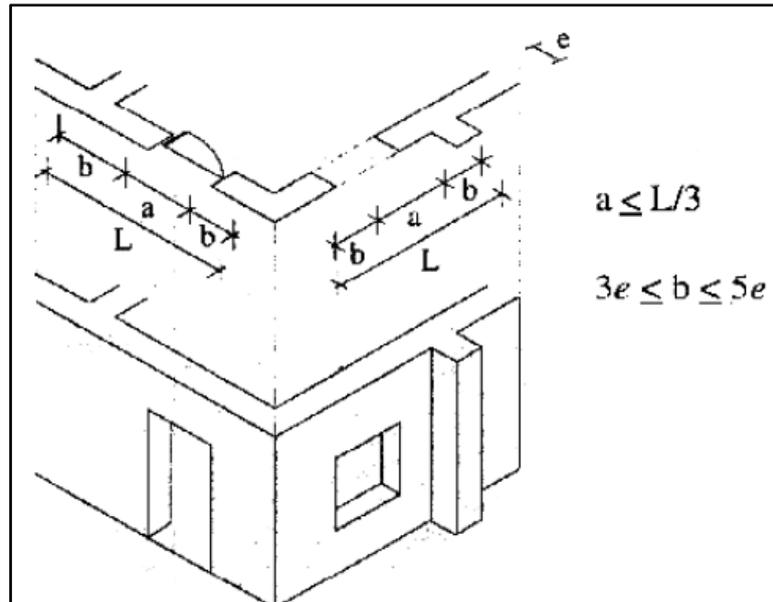
Muros en edificaciones de adobe.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en la norma E.080 (Adobe), en su Artículo N° 06 (Sistema Estructural); brinda las siguientes recomendaciones para los muros de adobe:

- a) Deberá considerarse la estabilidad de todos los muros. Esto se conseguirá controlando la esbeltez y utilizando arriostres o refuerzos.
- b) Las unidades de adobe deberán estar secas antes de su utilización y se dispondrá en hiladas sucesivas considerando traslape.
- c) El espesor de los muros se determinará en función de la altura libre de los mismos y la longitud máxima del muro entre arriostre verticales será 12 veces el espesor del muro.

- d) En general los vanos deberán estar preferentemente centrados. El borde vertical no arriostrado de puertas y ventanas deberá ser considerado como borde libre.
- g) En caso de muros cuyos encuentros sean diferentes a 90° se diseñarán bloques especiales detallándose los encuentros.

Figura N°02. Elementos de Muro.



Fuente: RNE

Con fines de diseño se utilizan los siguientes datos:

- Resistencia a la compresión de la unidad:

$$f_o = 15 \text{ kg / cm}^2$$

- Resistencia a la compresión de la albañilería:

$$f_m = 2 \text{ kg / cm}^2$$

- Resistencia al corte de la albañilería:

$$V_m = 0,25 \text{ kg / cm}^2$$

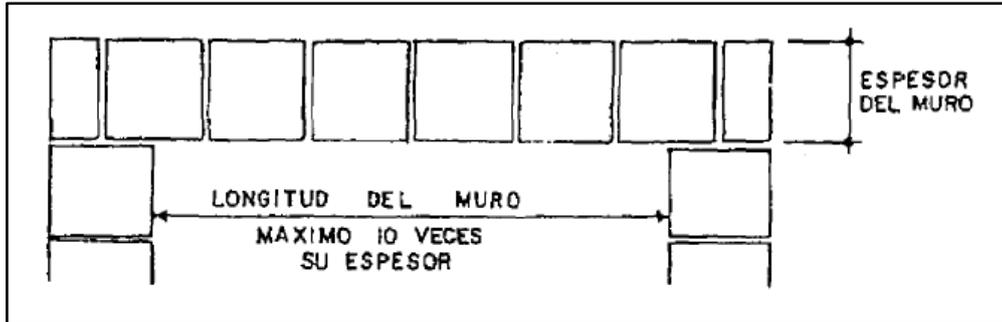
Consideraciones para el diseño de la propuesta – vivienda de adobe:

Se debe considerar ciertos parámetros para la estructuración de las viviendas de adobe, que garantice un comportamiento estable y resistente ante las diferentes cargas a las que estará expuesta, a continuación, se mencionan algunos criterios presentados en el Manual para la construcción de viviendas de adobe, del ingeniero Roberto Morales.

• **Dimensionamiento de muros.**

- 1.- La longitud del muro entre dos muros perpendiculares a él, no debe ser mayor a 10 veces su espesor.⁴

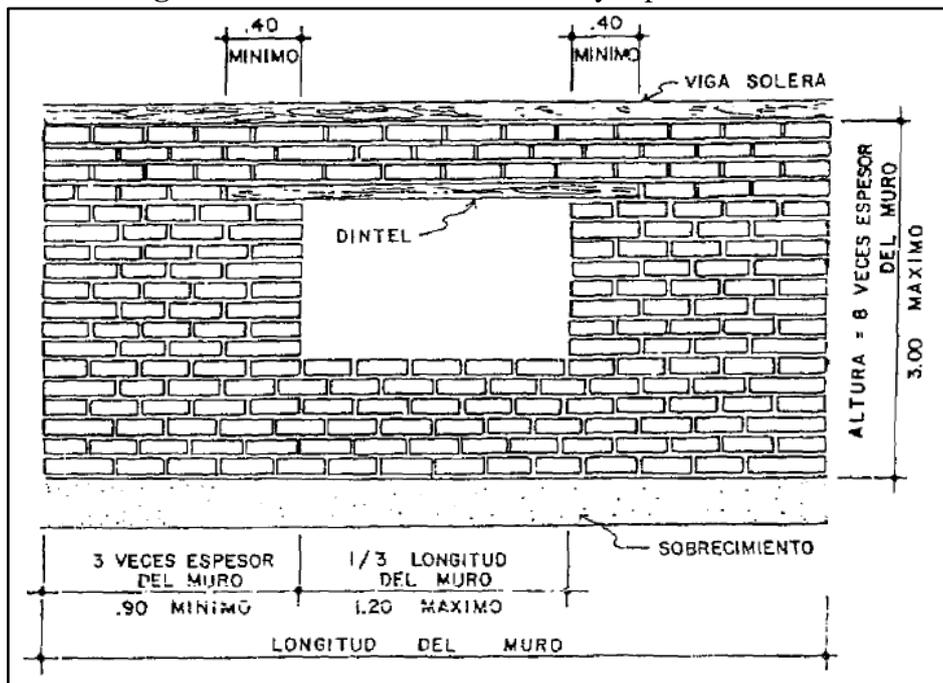
Figura N°03. Relación entre longitud y espesor del muro.



Fuente: Manual para construcción de viviendas de adobe.

- 2.- La altura máxima de los muros no debe ser mayor a 8 veces su espesor, el ancho de vano no debe ser mayor a 1.20 metros, así también la distancia entre la esquina y un vano no debe ser inferior a 3 veces el espesor del muro y el empotramiento del dintel aislado no debe ser inferior a 40 centímetros.⁴

Figura N°04. Relación entre altura y espesor del muro



Fuente: Manual para construcción de viviendas de adobe.

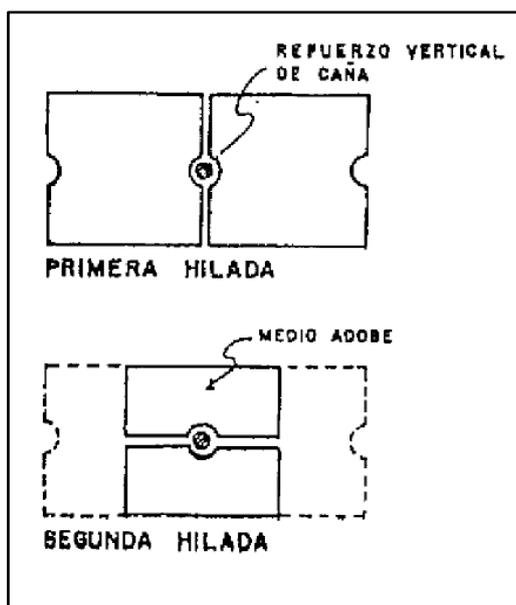
- **Refuerzos:**

1.- Las edificaciones de adobe deberán ser reforzadas para proporcionarles un comportamiento resistente ante las cargas sísmicas, se debe adoptar refuerzo horizontal y/o vertical en los muros.

Para reforzamiento horizontal se podrá utilizar cañas cada 4 hiladas como máximo, estas deberán ser amarradas entre sí en los encuentros.

Para reforzamiento vertical se utilizará cañas ya sea en un plano central de las unidades de adobe o en pequeños alveolos moldeados en la elaboración del bloque, en ambos casos se deberá rellenar los espacios vacíos con mortero, este reforzamiento debe ser anclado desde la cimentación hasta la viga solera.⁴

Figura N°05. Reforzamiento vertical en muros de adobe.



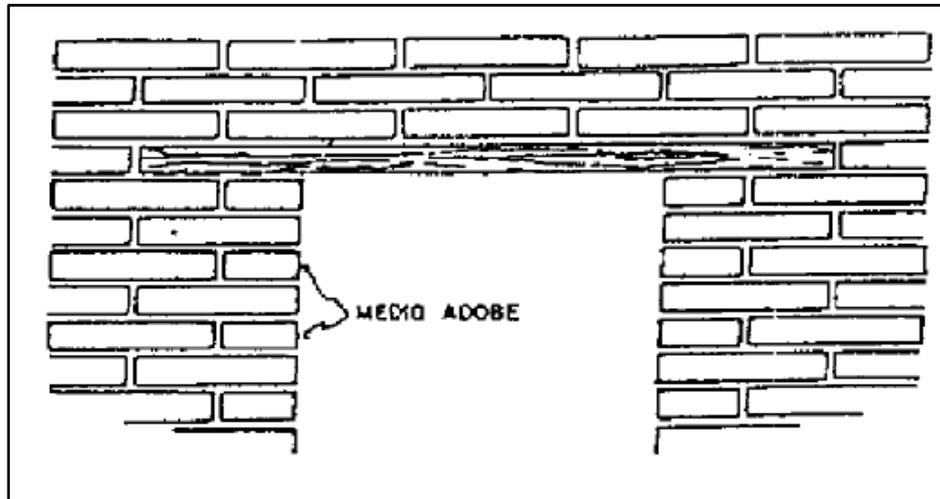
Fuente: Manual para construcción de viviendas de adobe.

- **Albañilería:**

1.- Las unidades de adobe, deberán haber completado su proceso de secado, así también deben estar libre de maleza vegetal y serán humedecidas antes de la colocación para no absorber el agua del mortero. Las juntas no deben ser mayor a 2 centímetros y las proporciones del mortero serán las mismas con las que se fabricó el adobe, en volumen se recomienda utilizar 1m³ de barro por 1m³ de paja.⁴

- 2.- Se deberá evitar las juntas horizontales en los encuentros del muro con los vanos y se considerará la viga dintel o solera para distribución adecuada de las cargas producidas sobre los vanos.⁴

Figura N°06. Muro de adobe terminado.

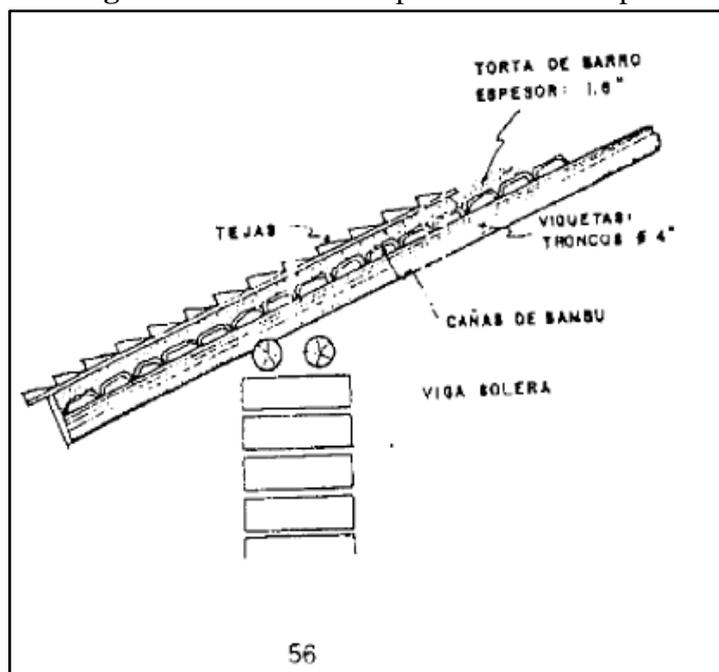


Fuente: Manual para construcción de viviendas de adobe.

- **Techos:**

- 1.- Para Amazonas se utilizará techos a dos aguas, para la correcta evacuación de aguas producto de las constantes precipitaciones, se recomienda utilizar pendientes de entre 15 a 30 %, con una longitud de volado mínima de 0.50 metros para proteger a los muros de la humedad.
- 2.- Se debe considerar un techado liviano, el cual típicamente será a base de viguetas de madera de 4" de diámetro a cada 0.8 metros sobre la viga solera y sobre estas transversalmente se colocaran tirantes, las cuales pueden ser elaboradas por cañas, sobre los tirantes se coloca una capa de mortero elaborado el 50% de paja seca para alivianar el peso de la masa, esta tendrá un espesor mínimo de 1.5", finalmente sobre esta capa se colocara tejas para proteger a la edificación de las lluvias y humedad evitando la erosión y degradación de sus componentes.⁴

Figura N°07. Sección típica de techo simple.



Fuente: *Manual para construcción de viviendas de adobe.*

De preferencia en las viviendas de adobes se debe utilizar bloques cuadrados, los cuales facilitan el amarre entre el encuentro de los muros con la incorporación de mochetas, cuya longitud mínima debe ser igual al ancho del muro, estas permitirán ampliar la longitud de anclaje del refuerzo horizontal y tienen funcionalidad de cortafuerzas arriostrando muros largos.

• **Cimentación:**

1. Para los cimientos se debe considerar una profundidad mínima de 40 centímetros y un ancho igual a 20 centímetros más el ancho del muro. Estos deben ser de concreto ciclópeo, la proporción en volumen recomendable es de 1 bolsa de cemento por 5 buggies de hormigón + 30% de Piedra Grande.⁴
2. Los sobrecimientos deberán ser de igual forma de concreto ciclópeo, con una altura mínima de 25 centímetros para proteger a los adobes de la erosión por humedad y el ancho será igual al del muro, la proporción recomendable es de 1 bolsa de cemento por 4 buggies de hormigón.⁴

3. En muchos de los casos se debe considerar la incorporación de una cuneta de 15 centímetros de profundidad y 20 centímetros de ancho para la evacuación de las aguas que cae de los techos fuera del área de la vivienda.⁴

Clima:

Se define como el conjunto de condiciones atmosféricas medibles y variaciones de las características ambientales que se producen en un área geográfica, estos pueden ser la temperatura, humedad, precipitaciones, viento.

- La temperatura es el grado o nivel térmico de la atmósfera, se mide en grados centígrados (°C).
- La humedad es la cantidad de agua o vapor de agua que contiene un cuerpo, se mide en porcentaje (%).
- Las precipitaciones son la caída de gotas de agua de la atmósfera producto de la condensación de las nubes y que llega a la superficie terrestre, se mide en milímetros (mm)
- Los vientos son las corrientes de aire que se producen en la atmósfera por variaciones de temperatura y que se desplazan por la superficie de la tierra, se mide en kilómetros por hora (Km/hr).

El clima está influenciado principalmente por factores geográficos y ambientales, los cuales permiten que sufra variaciones y sea característica única para un lugar determinado y no necesariamente sea el mismo en todo un país.

- La latitud es un componente importante para la caracterización climatológica de un lugar, ya que mide la distancia angular desde cualquier punto sobre la tierra hasta el paralelo con el ecuador, con lo que se puede conocer la zona climática a la que pertenece.
- La altitud se refiere a la altura de un punto sobre la tierra en relación con el nivel del mar.

4.- Fuente: Morales, R y otros (1993). *Manual para la construcción de viviendas de adobe: Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. pp. 50 -57.*

Sensación térmica del hombre:

La sensación térmica, es la reacción del cuerpo ante las condiciones de temperatura ambiental de su entorno, así también se incluye dentro de la definición otros factores que puedan provocar sensaciones de frío o calor al mismo.

El cuerpo del ser humano es capaz de reaccionar y generalmente adaptarse ante las variaciones climatológicas de su entorno, sin embargo, estos cambios provocan que se consuma energía metabólica.

Cuando el ambiente concentra bajas temperaturas y altos índices de humedad, el cuerpo gastara más energía para adaptarse y fijar su punto de confort, provocando muchas veces reacciones adversas al funcionamiento del mismo, como por ejemplo sensación de mareos y disminución de la capacidad de respiración. La sensación de comodidad se presentará en un medio en donde el cuerpo pueda adaptarse evitando grandes gastos de energía metabólica, esta sensación se denomina confort térmico.

Según el arquitecto Baruch Givoni, el confort térmico es la ausencia de irritación térmica, el cual depende del comportamiento fisiológico del cuerpo y están determinadas por un conjunto de condiciones en donde los mecanismos termorreguladores se encuentran en un mínimo de actividad. (Givoni, 1984).

Aunque en la actualidad se hayan aceptado muchas definiciones para el confort térmico, todas están relacionadas al equilibrio energético entre el ser humano y su entorno, sin embargo, muchas veces la existencia de equilibrio de energías no necesariamente garantiza el confort, ya que puede ser por la acción de los mecanismos termorreguladores que buscan mantener al cuerpo con temperatura constante dentro de los márgenes aceptables, pero cuando existe diferencia sustancial con la temperatura ambiente, dichos mecanismos no serán lo suficientemente capaces de lograr el equilibrio, es ahí donde se inicia las sensaciones de malestar al funcionamiento del cuerpo.⁵

5.- Fuente: Fernández, G. (1994). *Clima y confortabilidad humana, Aspectos metodológicos: Madrid. pp. 110 -114.*

La temperatura interior normal del ser humano bordea entre los 35°C – 36.5°C, por lo que el metabolismo busca siempre mantener al cuerpo dentro de estos rangos, estando expuestos a diferentes procesos por los cuales va ganando o perdiendo calor según la siguiente ecuación:

$$M \pm R \pm \text{Conv.} \pm \text{Cond.} \pm E = 0$$

Donde:

- M = Calor producido por procesos metabólicos.
 - R = Intercambio de calor por radiación.
 - Conv. = Intercambio de calor por convección.
 - Cond. = Intercambio de calor por conducción.
 - E = Pérdidas de calor por evaporación.
- **Convección:** Se define como la transmisión de calor del cuerpo hacia el medio ambiente o viceversa, el flujo de calor actuante es directamente proporcional al producto del coeficiente de convección por la diferencia de temperaturas del ambiente con el cuerpo.
 - **Conducción:** Se refiere a la transmisión de calor entre la superficie del cuerpo en contacto con un elemento o un cuerpo externo, el flujo de calor en este caso depende del coeficiente de transmisión térmica de los materiales en contacto.
 - **Radiación:** Es la transmisión de calor que se produce a través del medio ambiente, como su mismo nombre lo detalla, es por radiación. El flujo de calor será directamente proporcional a la constante de radiación universal, la capacidad de absorción de la piel por las diferencias de temperaturas.
 - **Evaporación:** Es la transmisión de calor del cuerpo hacia el ambiente por medio de la evaporación en la respiración, este fenómeno depende de la actividad que realiza el cuerpo y también la capacidad de producir sudoración.

Cuando la ecuación es igual a cero, se dice que el cuerpo está en equilibrio térmico, mientras que cuando existe diferencia, se accionaran los mecanismos termorreguladores internos. La ganancia o pérdida de calor depende de las

características metabólicas de cada persona y del tipo de actividad que realiza, en la tabla N° 04 se detalla algunos promedios de los niveles de energía según el tipo de actividad que realiza el cuerpo.

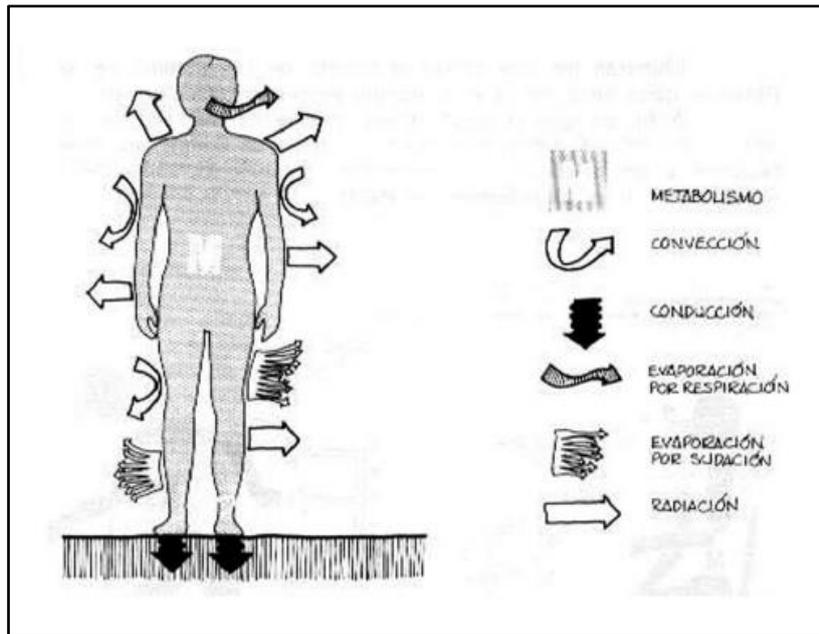
Tabla N° 04. Relación de actividades y sus niveles de metabolismo.

Ítem	Actividad	Energía (W)
1.-	Durmiendo	75 w.
2.-	Sentado	120 w.
3.-	Trabajo ligero	
3.1.-	En oficina	130 -160 w.
3.2.-	Conduciendo	160 -190 w.
3.3.-	De pie trabajo ligero	160 -190 w.
4.-	Trabajo moderado	
4.1.-	Sentado, movimiento intenso de manos, troncos y piernas	190 – 230 w.
4.2.-	De pie con desplazamiento	230 – 290 w.
4.3.-	Levantamiento y transporte moderado de pesos	290 - 400 w.
5.-	Trabajos intensos	430 – 600 w.

Fuente: Teoría de Belding y Hatch.

En circunstancias normales y con ropas livianas, la sensación de satisfacción térmica se alcanza entre los 21 °C y 25 °C.

Figura N°08. Equilibrio térmico del cuerpo humano.



Fuente: Libro: *La casa ecológica leonesa* Pág. 95

Análisis del confort climático:

Para el análisis de la zona de confort se utiliza el estudio de diversas variables climatológicas en relación con la sensación térmica del cuerpo, aunque los factores de variaciones son innumerables, se puede definir índices o parámetros delimitados por áreas de confort, que se traducen en diagramas bioclimáticos.⁶

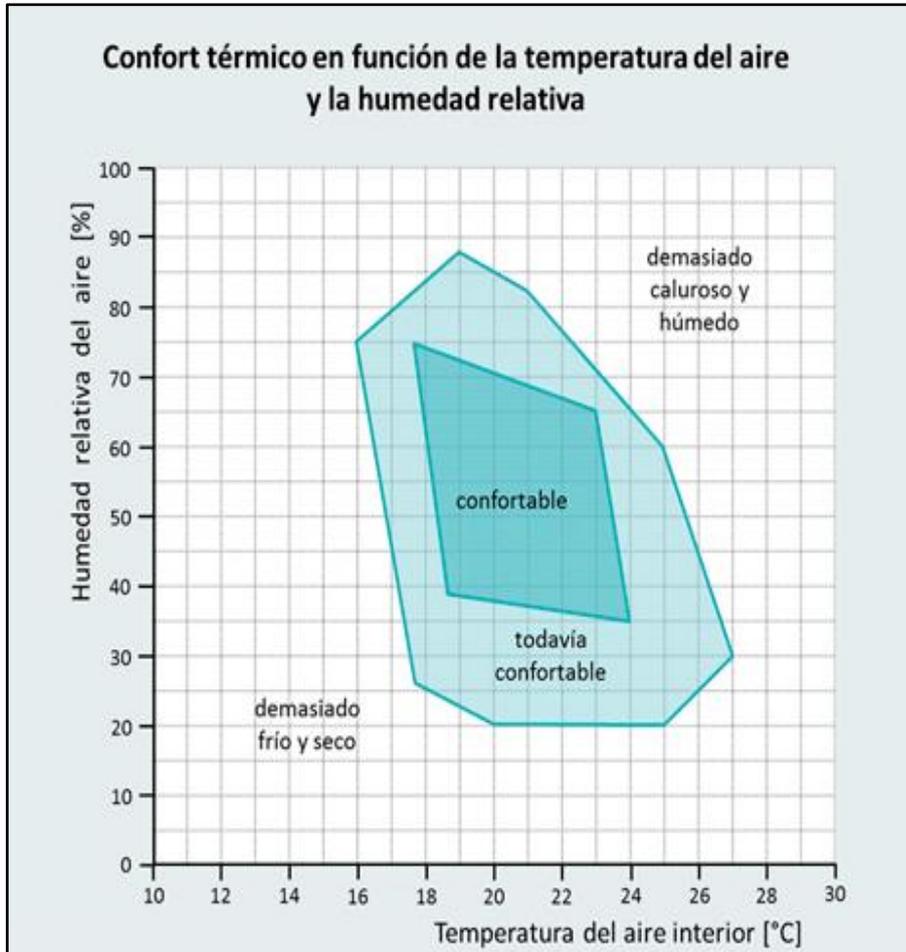
Temperatura del aire vs humedad relativa del aire

Según el portal web de arquitectura y energía, cuando La velocidad del aire y el calor radiante son factores muy poco perceptibles, es únicamente necesaria la temperatura del aire para encontrar el confort térmico, el rango que generalmente bordea para la sensación de bienestar térmico se encuentra entre los 20°C a 25°C. La humedad relativa de enfriamiento para encontrar la sensación de bienestar térmica bordea entre el 30 a 40% como mínimo y 60 a 70% como máximo, ya que él cuerpo tiene gran resistencia y absorción hacia este efecto.

6.- Fuente: Fernández, G. (1994). *Clima y confortabilidad humana, Aspectos metodológicos: Madrid. pp. 114 -115.*

Gráficamente se puede representar los valores anteriormente definidos y encontrar un área de confort.

Figura N°09. Confort térmico: temperatura vs humedad relativa del aire.



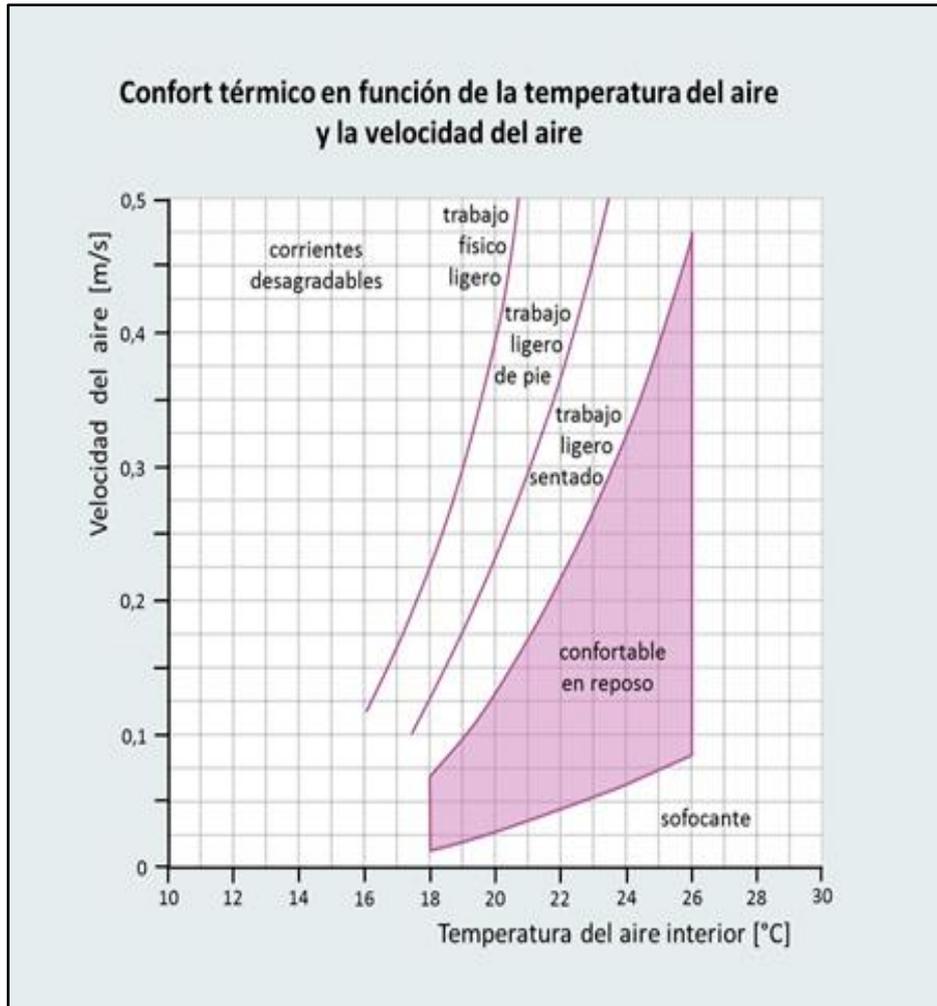
Fuente: Portal de Arquitectura y Energía:
<http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>

Temperatura del aire vs velocidad del aire

El portal web arquitectura y energía nos dice que se considera agradables la velocidad de aire que bordea entre 0.1 a 0.2 m/s cuando sobrepasan estos límites se habla de corrientes de aire.

Se considera que sobre los 37°C el aire en movimiento calentara la piel por convección y a la vez enfriara por medio de evaporación, por lo que se deduce que cuando la temperatura es alta, el efecto refrigerante será menor.

Figura N°10. Confort térmico: temperatura vs velocidad del aire.

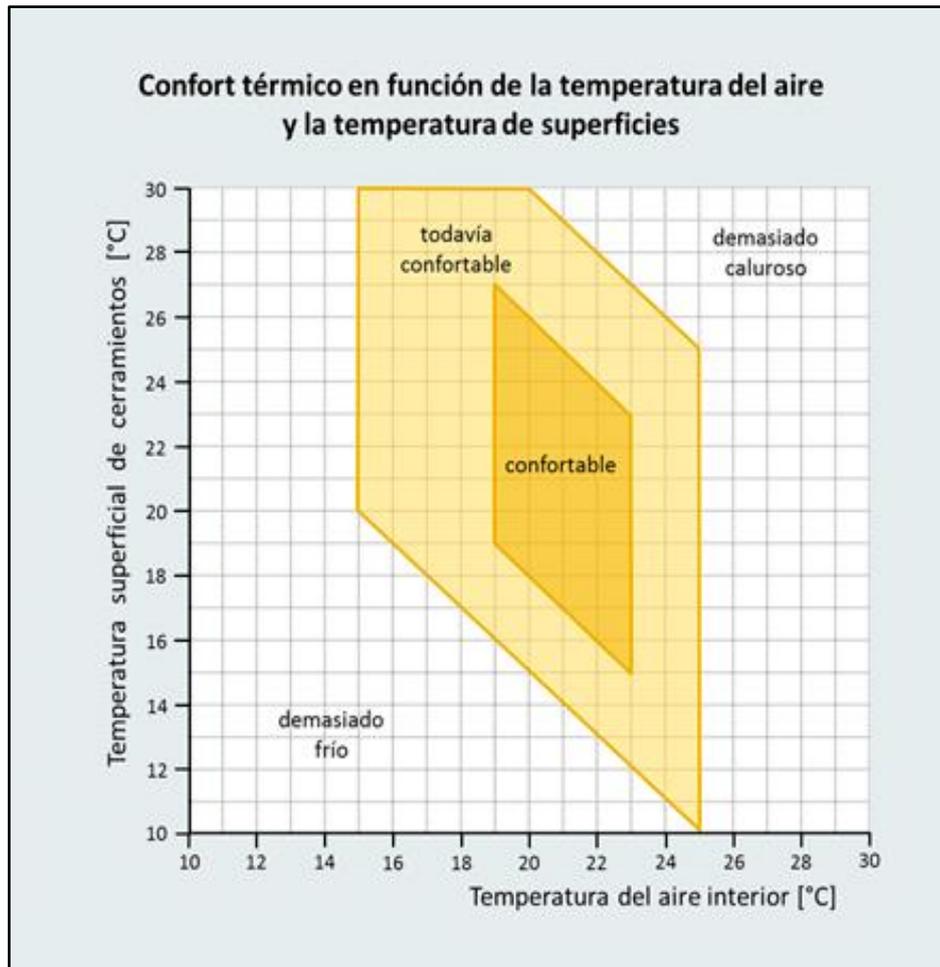


Fuente: Portal de Arquitectura y Energía:
<http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>

Temperatura del aire vs temperatura de las superficies

Según el portal web arquitectura y energía, la temperatura radiante representa el calor que se emite en forma de radiación por elementos que conforman el medio ambiente y principalmente de las temperaturas superficiales. Para encontrar el bienestar térmico se espera que esta temperatura no tenga grandes diferencias con la temperatura del aire.

Figura N°11. Confort térmico: temperatura del aire vs temperatura superficial.



Fuente: Portal de Arquitectura y Energía:
<http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-confort-termico/>

Diagrama de Givoni:

En la presente investigación se ha tomado en cuenta, dentro de la gran variedad de diagramas climatológicos que existen para identificar zonas de confort, la propuesta por el arquitecto Baruch Givoni, ya que su medio de aplicación apunta hacia el diseño sostenible.

El comúnmente conocido diagrama de Givoni, es una gráfica climatológica para edificaciones, en el cual se introduce como variable el efecto del módulo sobre el ambiente interno. El objetivo principal es brindar una estructura constructiva, que responda eficientemente ante determinadas condiciones climáticas del medio en

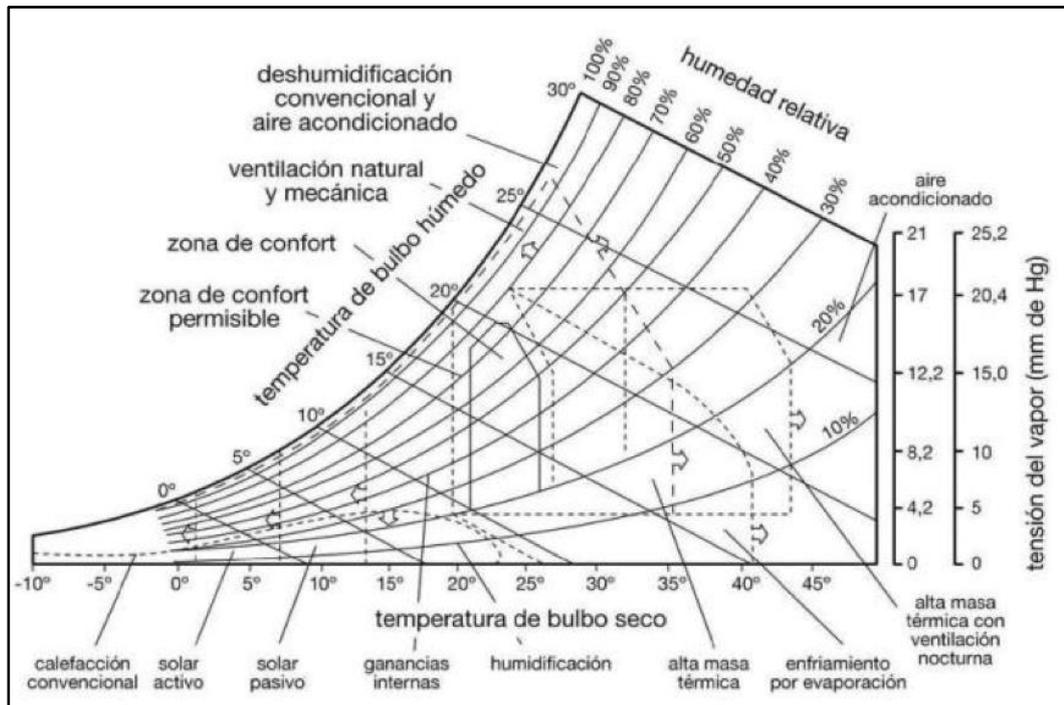
que se desarrolla, creando un ambiente interior que se encuentre dentro de la zona de confort.

Nos permite también determinar estrategias de diseño ecoeficiente en función de las condiciones hidrotérmicas del medio en diferentes épocas del año.

El diagrama de Givoni, presenta las siguientes zonas:

1. La zona de confort térmico está delimitada únicamente a partir de la temperatura seca y la humedad relativa.
2. Existe una zona de confort ampliada, en donde se introduce el efecto de otros factores ambientales.

Figura N°12. Diagrama de Givoni.



Fuente: Diagrama bioclimático para edificios de Givoni (reproducido de Pedro J. Hernández).

La zona de confort del edificio se puede ampliar por la parte derecha de acuerdo con la masa térmica de los materiales que lo componen; y su enfriamiento se produce por corrientes de aire seco que pasa sobre una superficie de agua produciendo descenso de temperatura por la energía utilizada en el proceso de evaporación y aumento de humedad ambiental.

Por la parte izquierda se puede ampliar la zona de confort cuando se produce calentamiento, ya sea natural que es producido por la radiación durante el día y acumuladores para la noche o simplemente por artefactos mecánicos.⁷

Sostenibilidad ambiental:

La sostenibilidad ambiental es un término utilizado en los últimos años para referirse al equilibrio entre la sociedad y el medio en el que habita. Básicamente busca el desarrollo de las sociedades sin malgastar ni destruir las condiciones del medio, sino salvaguardar los recursos, utilizándolos sin comprometerlo ni extinguirlos.

Uno de los principios fundamentales de la sostenibilidad ambiental es la implementación de viviendas ecoeficiente o climatizadas, es decir que técnicamente consuman menos energías que las convencionales, tanto en su construcción y periodo de vida útil, así también, promueve la conservación del ambiente, solamente aprovechando las energías renovables disminuyendo el consumo de energías contaminantes, mediante sistemas de adaptación ecológicas.

Vivienda ecoeficiente térmica:

José Palacios en su libro “la casa ecológica leonesa”, define como una casa ecoeficiente aquella que es capaz de generar por sí sola energía total o parcialmente gratuitas para funcionar autónomamente, dependiendo parcialmente de las redes de suministro exterior de pago. Se busca que estén alimentadas de energías renovables del medio exterior en que se desarrolla y recolección de aguas para actividades secundarias como regadío de jardines o limpieza.

En muchos casos se han diseñado viviendas que no dependen en absoluto de un abastecimiento exterior mediante procesos de retroalimentación de energías y residuos, lo cual permitiría plasmar el prototipo en lugares alejados o sin presencia de otros individuos o vecinos.⁸

7.- Fuente: Fernández, G. (1994). *Clima y confortabilidad humana, Aspectos metodológicos: Madrid*. pp. 123 -124.

8.- Fuente: Palacios, B. (2007). *la casa ecológica leonesa, (1era edición)*. Guanajuato: editorial Rezza. pp. 94 – 95.

Es necesario aclarar que para la presente investigación, se plantea diseñar un prototipo que parcialmente no dependa de las redes exteriores, ya que la ubicación corresponde a zona urbana con presencia de viviendas rurales en donde existen conexiones de servicios, y el fin del presente proyecto es que el diseño se adapte a la realidad actual.

Principios para el diseño de viviendas ecoeficientes:

1.- La orientación para los elementos:

La orientación de la vivienda es un factor muy importante en el diseño, ya que dependerá de este aspecto la calidad y cantidad de radiación solar, iluminación y calor que la vivienda reciba, asimismo es necesario distribuir los ambientes estratégicamente para que la distribución interna de calor sea la necesaria o requerida para su buen funcionamiento.

2.- Los sistemas de adaptación ecoeficiente:

Estos se refieren a los mecanismos de diseño que se incorporaran en la vivienda, para darle un uso ecológico y eficiente, como por ejemplo el sistema de recolección de aguas pluviales para regadío o limpieza, el sistema de canalización de aguas, los muros de recolección de calor, entre otros.

3.- El aislamiento

El aislamiento térmico es un sistema en el cual se introduce un material con un mayor índice de concentración de calor dentro de los muros, provocando que atrapen el calor durante el día y pueda ser liberado durante las noches o temporadas de frío.

4.- El coeficiente “k”:

El valor de K, hace referencia a la cantidad de calor (W), que transmite a través de un elemento de la envolvente por cada m² de superficie y proporciona la diferencia en °C de la temperatura exterior e interior, se puede verificar con esto si existe pérdida o ganancia de calor, y si el diseño se encuentra en la zona de confort esperado.

5.- La ventilación natural:

Esta se refiere a la ventilación natural, es decir, el aire que ingresa al interior de la vivienda a través de los vanos.

6.- El confort térmico:

No existe un valor exacto que defina que la vivienda tiene confort térmico o no, sin embargo, se puede cuantificar teóricamente según los parámetros que brinda los diagramas climatológicos como el de Givoni, considerando algunos factores como la temperatura, la humedad, ventilación, entre otros. Sin embargo, dependerá también del cómo interactúan los usuarios de la vivienda, por lo que se considerara trabajos leves cuyos rangos de confort pueden estarán entre los 21°C a 25°C.

Fundamentos de edificaciones bioclimatizadas:

El Dr. José Palacios, explica lo siguiente:

El objetivo fundamental del diseño de edificaciones sostenibles es aprovechar los espacios de cada ambiente y brindarles condiciones de confort y bienestar, aplicando principios físicos fundamentales de intercambio de calor.

En la aplicación del diseño convencional de viviendas, los factores como orientación del módulo, asoleamiento, velocidad del viento, tamaño de los vanos y características térmicas de los materiales, no son tomados en cuenta, ya que comúnmente se apunta principalmente a la seguridad estructural, cuyo factor es muy importante, sin embargo, hoy en día es necesario incluir aspectos integrales a los proyectos, los cuales formen parte de un todo, es decir, seguridad estructural y sostenibilidad ambiental de la mano.

Todos los fundamentos descritos hasta el momento deberán ser tomados en cuenta de forma integral durante el procedimiento de diseño, ya que son necesarios para cumplir el principio fundamental del proyecto, que es brindarle protección, seguridad y confort al usuario.⁹

9.- Fuente: Palacios, B. (2007). *la casa ecológica leonesa, (1era edición)*. Guanajuato: editorial Rezza. pp. 96.

Principios físicos del diseño de viviendas térmicas:

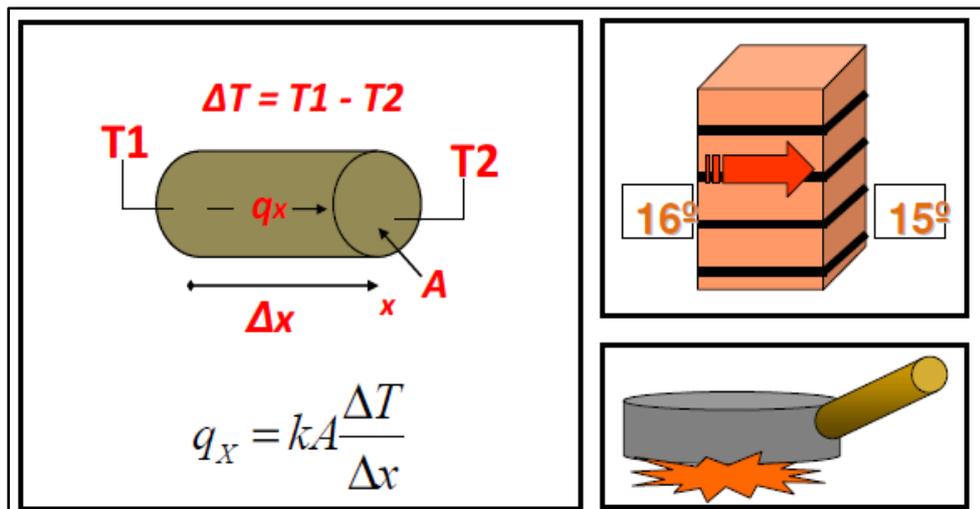
- **Calor o transferencia de calor:**

La transferencia de calor es la energía en movimiento que se produce por la diferencia de temperaturas, en este caso la temperatura exterior y la temperatura interior.

- **Conducción:**

Es la transferencia de calor que se produce desde moléculas más energéticas a la menos debido a las interacciones entre las mismas, lo cual permite fluir a lo largo de un cuerpo, en sólidos la transmisión será mayor que en los gases, es por eso, que se considera un principio general para el diseño de viviendas térmicas.

Figura N°13. Conducción de calor.



Fuente: Cálculo y simulación de viviendas térmicas

- **Conductividad térmica:**

Se define como la propiedad de los materiales que mide capacidad de conducir el calor. El coeficiente de conductividad térmica (U), se refiere a la cantidad de calor que se almacena en un m^2 , la conductividad térmica se expresa en $W/(mk)$, esta propiedad del material varía en función de la temperatura a la que se efectúa la medida.

- **Calor específico:**

El calor específico de una sustancia o un cuerpo en relación termodinámica es una magnitud física que se define como la cantidad de calor que debe incorporarse para elevar su temperatura en un grado Celsius a partir de la temperatura inicial o dada, se le representa con la letra “c” cuyas unidades son $J/(Kg \cdot K)$.

- **Intercambios de aire:**

Es el principio físico que se registra con una transferencia de energía a través del movimiento de masas de aire, en el caso de viviendas térmicas, se produce con el movimiento del aire que sale y entra de la misma.

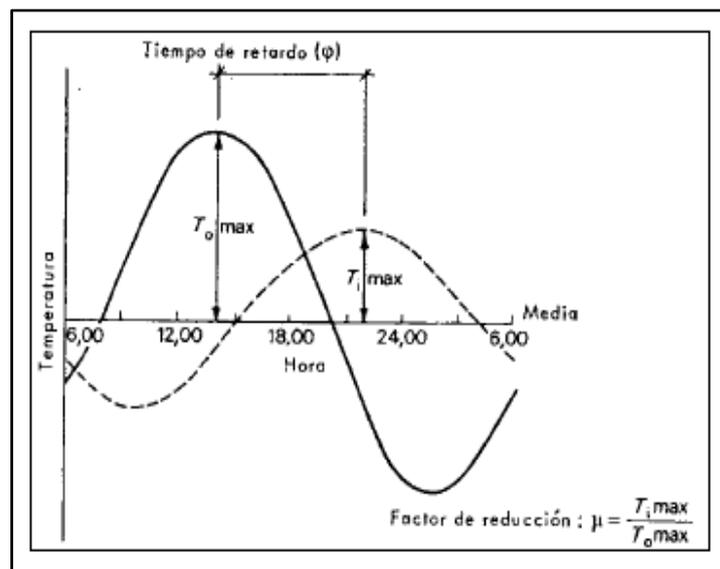
- **Amortiguamiento calor:**

Es el efecto que se produce cuando la temperatura en el interior de la vivienda es menor que en el exterior de la misma.

- **Retraso**

Se refiere al fenómeno en donde la temperatura del exterior se percibirá en el interior un tiempo después.

Figura N°14. Conducción de calor



Fuente: Cálculo y simulación de viviendas térmicas

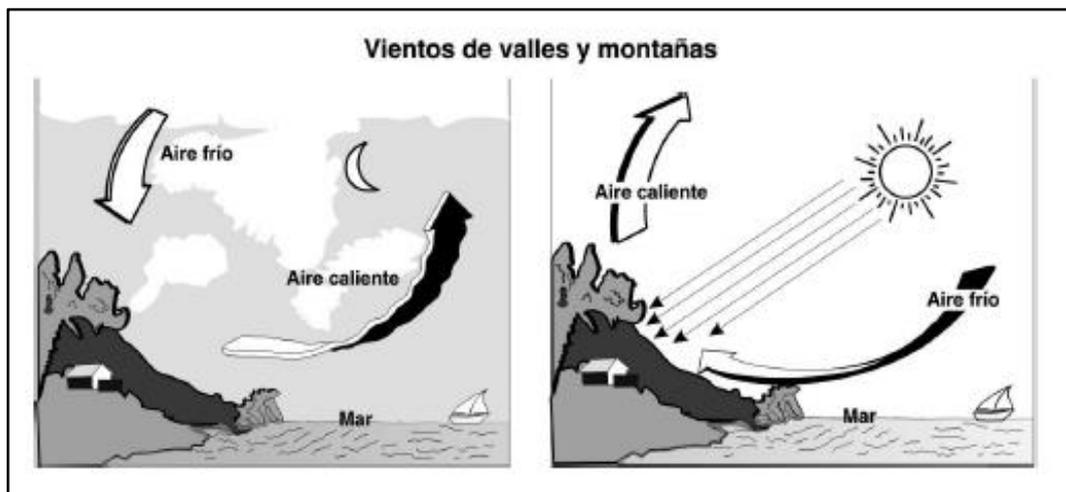
Aplicaciones:

Una vivienda térmica Ecoeficiente será cómoda ante eventos climatológicos externos, y requerirá menos consumo de energía eléctrica (o combustibles). Para lograr un diseño óptimo es fundamental el estudio de las variaciones de la temperatura en la zona, así como también de los fenómenos atmosféricos que se presentan, ya que será el inicio del planteamiento del proyecto y servirá en los criterios de distribución de áreas y vanos.

Por tal motivo se debe reconocer las características de la ubicación del proyecto, porque factores como: relieve, topografía, fuentes de agua, determinan características únicas del medio y aunque pertenezcan a la misma área política muchas veces no contienen el mismo nivel de clima, es por ello por lo que es necesario centrarse y analizar los resultados en base a la experiencia de la población existente en el área del proyecto.

Un aspecto importante para el proyecto de viviendas térmicas es la velocidad del viento, con los efectos de la temperatura se produce el aire frío y aire caliente. El aire frío es más pesado que el aire caliente. El aire frío se mueve más lentamente y su flujo es fácilmente redireccionado por construcciones y árboles, mientras que el aire caliente es más liviano.¹⁰

Figura N°15. Comportamiento del viento.



Fuente: *La casa ecológica leonesa* (pág. 96).

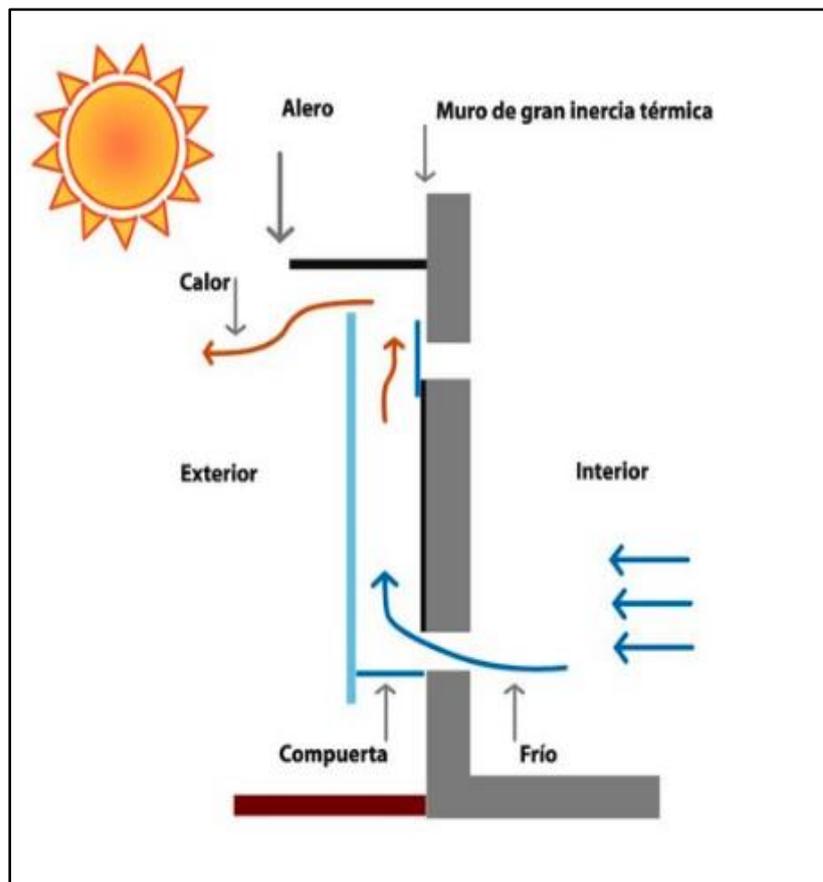
10.- Fuente: Palacios, B. (2007). *la casa ecológica leonesa*, (1era edición). Guanajuato: editorial Rezza. pp. 94-96.

Muros captadores de energía (Trombe):

El muro Trombe, es un elemento de la vivienda encargado de la captación de energía solar, el cual se encuentra estáticamente conectado a un muro común de la edificación, convirtiéndolo en un potenciador de energía térmica como un sistema de calefacción pasivo.

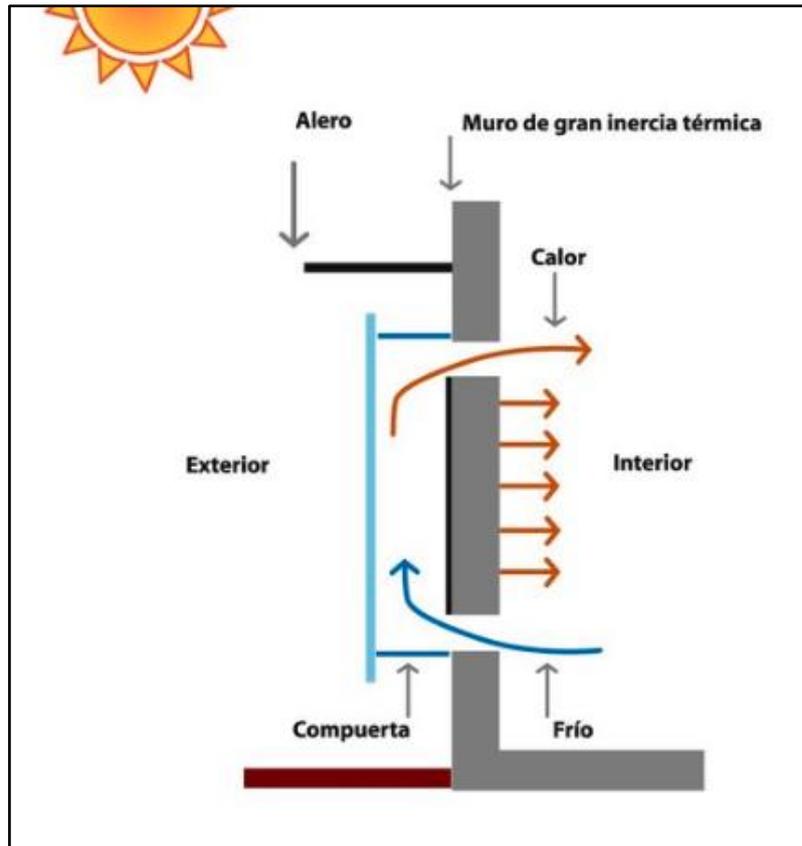
La característica principal de esta estructura es el muro en el cual estará ubicado, ya que debe ser aquel cuya posición solar se más favorable a lo largo del día, y debe ser construido de un material que le permitan absorber calor como masa térmica, en este caso se utilizará el adobe.

Figura N°16. Componentes del muro Trombe en verano.



Fuente: Portal Archdaily.:
<http://www.archdaily.pe/pe/02-68622/en-detalle-muro-Trombe>

Figura N°17. Componentes del muro Trombe en invierno.



Fuente: Portal Archdaily.:
<http://www.archdaily.pe/pe/02-68622/en-detalle-muro-Trombe>

Su función comienza con la captación solar y la circulación de aire que se producen dentro y fuera de la vivienda por diferencias de temperaturas (aire frío y aire caliente); esta estructura puede brindar calor durante meses de bajas temperaturas y liberación de calor en meses de verano.

El muro Trombe consta de los siguientes partes:

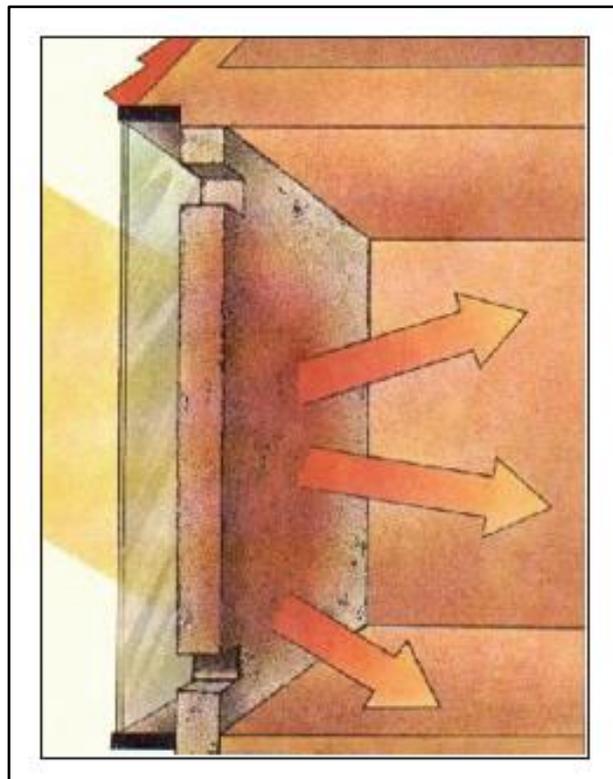
1. Muro interior de adobe, que capte calor, es decir, con gran inercia térmica.
2. Lamina de vidrio doble con una cámara de aire interior.
3. Una tapa superior para que proteja a la cámara de aire de que no caiga maleza.
4. un espacio entre el muro y el vidrio, cuyo espesor adecuado se tomará veinte centímetros.

5. Se consideran cuatro cajas de pase de aire con sus respectivas tapas, tanto en el exterior como en el interior (dos superiores y dos inferiores).

Enfoques del diseño térmico:

Diseño por sistema solar pasivos, se refiere al diseño de viviendas que están elaboradas para el uso eficiente de la energía solar, ya que utilizara muy poco los recursos eléctricos o mecánicos. Cuando se habla energía solar, no solamente hace referencia a la temperatura, sino también a otros elementos climatológicos que influyen en el comportamiento del prototipo.

Figura N°18. Distribución de calor interno.



Fuente: La casa ecológica leonesa (pág. 97).

El diseño solar activo, en cambio se refiere al aprovechamiento de energía solar mediante aparatos mecánicos, el más conocido son los paneles solares, estos pueden ser muy eficientes e incluso pueden llegar a ser automatizados sin embargo en la sociedad actual estos sistemas resultarían demasiado costosos.¹¹

11.- Fuente: Palacios, B. (2007). *la casa ecológica leonesa, (1era edición)*. Guanajuato: editorial Rezza. pp. 96-97.

Aspectos fundamentales para el diseño:

1. Posición solar:

Se refiere al estudio previo de la posición del sol en un punto determinado, reconociendo su recorrido en cualquier periodo del año, su ángulo de traslado en relación con el punto en estudio. Se indica también la declinación del eje terrestre el cual estará afectado por la línea ecuatorial, el cual divide al planeta en hemisferio norte y sur.

2. Energía solar y climatización:

Estudio previo en donde se calcula la incidencia de la energía solar sobre la superficie, generalmente está relacionado con la temperatura máximas que se generan en un lugar determinado.

Para la presente investigación no se considerará paneles solares, ya que para la zona en estudio aun no son adaptables, sin embargo, el aprovechamiento de la energía solar será de forma pasiva, es decir, en la iluminación que brindará al inmueble y el calor recolectado mediante los muros Trombe (sistema pasivo), y otros recolectores distribuidos en la edificación, los que se comportarán según el material utilizado.

El estudio climatológico se realiza mediante la recopilación de datos del Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), los cuales serán procesados para ser sometidas a las tablas de Mahoney que son recomendaciones arquitecturales para aprovechar las condiciones meteorológicas de la zona.

el Dr. José Palacios en su análisis del uso correcto del diagrama climatológico de forma aplicativa al diseño, explica que estos son una representación tal que cada punto del mismo define unas determinadas condiciones atmosféricas dadas por la temperatura ambiente T y las condiciones de humedad H .

El área de confort es el conjunto de puntos (T, H) , en el cual un individuo de metabolismo medio, vestido con ropa ligera de verano, en reposo o

realizando una actividad sedentaria, con el aire en reposo y sin recibir radiación solar, se encontraría en condiciones confortables.

Sobre el diagrama se representan las condiciones climáticas del lugar que queremos estudiar, en este caso la provincia de Chachapoyas. Necesitamos saber cuatro valores: la media de las temperaturas mínimas diarias (T_{min}), la media de las temperaturas máximas diarias (T_{max}), la media de la humedad relativa mínima diaria (H_{min}), y la media de la humedad relativa máxima diaria (H_{max}).

Como la humedad relativa aumenta cuando disminuye la temperatura (puesto que el ambiente admite menos humedad absoluta), los pares a representar sobre el diagrama son (T_{min} , H_{max}) y (T_{max} , H_{min}), que uniremos por una línea. Definiremos tres puntos importantes en la línea climática: el mínimo (MIN) representado por la dupla (T_{min} , H_{max}), el máximo (MAX) representado por la dupla (T_{max} , H_{min}), y el medio (MED) representado por el promedio de los anteriores.¹²

Sistemas pasivos para viviendas térmicas.

Dentro de los sistemas que se incluirán en el diseño térmico, se añadirán los sistemas de muro Trombe para captación de calor según las temperaturas externas e internas y arquitectura ecológicas según recomendaciones de las tablas de Mahoney.

Para que esto funcione se debe considerar ciertos materiales con alta capacidad térmica o transferencia térmica. El diseñador debe considerar materiales que sean propios de la zona del proyecto, como por ejemplo la fabricación de adobes de barro y paja, la utilización de vidrios dobles y materiales de fácil acceso como corchos, polipropileno, cemento, pinturas, aserrines, etc. Existe gran variedad de materiales, la idea es siempre que en conjunto funcionen pasivamente y que no signifiquen un alto costo al usuario.

12.- Fuente: Palacios, B. (2007). *la casa ecológica leonesa*, (1era edición). Guanajuato: editorial Reza. pp. 97-99.

Definición de términos básicos

- **Diseño bioclimatológico:**

Es aquel procedimiento que consiste en idealizar y plasmar un prototipo de edificación, cuya característica principal es la aplicación de estrategias bioclimáticas mediante sistemas pasivos o activos, los cuales sirvan para alcanzar las condiciones de confort deseado. (Eduardo Ramos, 2012).

- **Estrategia bioclimática:**

Se definen como las condiciones o medidas de carácter general destinadas a influenciar tanto en la forma de la edificación como en su funcionalidad, sistemas y componentes constructivos. Estas condiciones están relacionadas con las características ambientales de la zona y la operación del misma, como parte del objetivo del buen desempeño térmico en función del clima. (Eduardo Ramos, 2012).

- **Optimización de energía:**

Son las acciones que se toman al momento de diseñar una edificación con el propósito de reducir el consumo de energías contaminantes o combustibles. Se relaciona con el uso óptimo de recursos renovables de forma pasiva, con el objeto de mejorar las condiciones de vida del usuario y el medio en el que se desarrolla.

- **Confort térmico y lumínico:**

Se refiere a la comodidad que se siente el usuario al obtener una temperatura e iluminación apropiada sin la necesidad de utilizar equipos mecánicos o eléctricos, que no provoque malestar o irritación dentro de la edificación, sino más bien, un sistema de energético natural y que signifique un menor costo su adaptación al medio. El confort térmico y lumínico debe ser aprovechado naturalmente por el día, ya que en las noches será inevitable adoptar el servicio eléctrico, cuyo uso también debe ser racional y acorde al fin del diseño ecológico.

- **Almacenamiento de calor:**

Es la capacidad que tiene un cuerpo o una edificación para captar la mayor cantidad de calor en las temporadas o periodos de altas temperaturas y liberarlo cuando sea necesario. El almacenamiento de calor, está relacionado con la funcionalidad de los sistemas pasivos que se planteen en el diseño y los cambios de temperatura de la zona en que se ubica, en los proyectos de viviendas térmicas es importante fijar las ubicaciones exactas en las que se pueda recolectar mayor cantidad de calor y asimismo estas puedan transferir hacia los otros ambientes creando un clima de confort homogéneo dentro de la vivienda; los sistemas de almacenamiento de calor también deberán estar adaptados para funcionar en épocas de verano, en donde su función será lo contrario, es decir liberar calor hacia el exterior.

- **La envolvente térmica:**

Se refiere a los elementos que separan los ambientes internos de la vivienda con el exterior o espacios no habitables, como por ejemplo muros, vanos, otras edificaciones. La envolvente térmica funciona como aislamiento térmico antes las variaciones climatológicas del exterior, con la finalidad de mantener una temperatura ideal dentro de las zonas habitables de la edificación.

- **Transmitancia térmica:**

Se define como la unidad de calor que pasa por un área en un tiempo determinado, que generalmente se utiliza en sistemas constructivos formados por capas de diferentes materiales. La transmitancia térmica se mide en $W/m^{\circ}C$, su utilización es medir la capacidad de un elemento estructural de transmitir calor en función de su ubicación dentro de la edificación. Se utiliza también para el cálculo de pérdidas de energías en invierno y ganancias en verano. En el Perú se tiene la normativa E.M. 110 (Confort térmico y Lumínico), en donde se indica los valores máximos de la transmitancia, por lo tanto, el trabajo se reduce a verificar si esta propiedad de cada envolvente cumple con el parámetro máximo dado, si es así se considera confortable térmicamente y de lo contrario será necesario mejorar las dimensiones de los elementos o los materiales que los componen.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Descripción de la investigación

La presente investigación es del tipo descriptivo, cuyo fin básicamente fue obtener conocimiento o experiencias relativas a la situación de estudio planteada, en este caso se partió de la necesidad de mejorar la calidad de las viviendas rurales de la zona, para lo cual se optó por estudiar las características del medio y poder proponer un modelo de edificación óptimo y eficiente.

En el desarrollo del proyecto de diseño fue necesario el análisis de diversos aspectos técnicos como el estudio de las variaciones climatológicas, las condiciones del terreno proyectado, y asimismo la evaluación de los sistemas estructurales para viviendas rurales. La ingeniería del diseño tuvo la finalidad de relacionar dichos parámetros técnicos con las características ambientales del medio para crear un modelo dentro del área de confort térmico deseado.

4.2. Diseño de la investigación

La presente investigación es no experimental, ya que las condiciones y parámetros que intervienen en el estudio para el planteamiento del diseño de la vivienda térmica, así como sus dimensiones e indicadores, fueron analizados en su estado natural, sin la intervención o manipulación del investigador en su desarrollo; simplemente se observa el comportamiento tal como se presenta en su contexto de espacio y tiempo específico para ser utilizadas a conveniencia y brindar solución al problema planteado.

4.3. Ubicación del proyecto

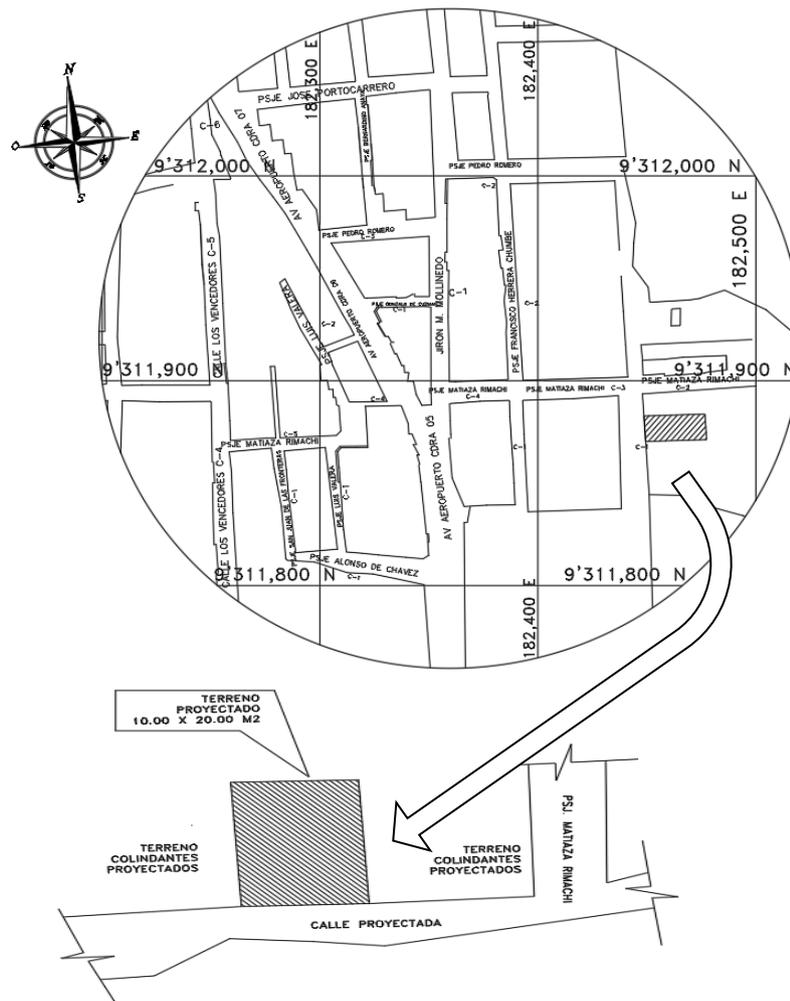
La provincia de Chachapoyas, perteneciente al departamento de Amazonas, está ubicada en la vertiente oriental de la cordillera de los andes, en la cuenca del río Utcubamba. La altitud de la provincia varía entre los 900 – 3,600 m.s.n.m. por lo que contiene una gran riqueza de ecosistemas en todo su territorio.

La ubicación específica del proyecto está en la ciudad de Chachapoyas, capital del departamento de Amazonas, ubicada a una altitud de 2,334 m.s.n.m. y cuya orientación es de 6.23°S 77.82°W.

El terreno proyectado para el diseño se encuentra en el AA. HH Señor de los Milagros de la ciudad de Chachapoyas, el sector corresponde a la extensión Urbana de la zona, sin embargo, aún existen muchas áreas sin lotizar y sin el trazo definido para una futura expansión urbana.

En el lugar se cuenta con los servicios básicos necesarios para abastecer a la población, además según el plan de uso de suelo de la Municipalidad de Chachapoyas, identifica a esta zona como uno de los sectores de expansión inmobiliaria futura.

Figura N°19. Ubicación del AA. HH. Señor de los Milagros y terreno propuesto.



Fuente: Planos de la ciudad de Chachapoyas.

Figura N°20. Vista norte del terreno.



Fuente: Toma propia.

Figura N°21. Vista sur del terreno



Fuente: Toma propia

4.4. Método descriptivo

4.4.1. Características de la zona

El AA. HH Señor de los Milagros se encuentra en el extremo norte de la ciudad de Chachapoyas, comprende los sectores de Alonso de Alvarado y parte de la zona norte del área central de la ciudad, delimitada desde la

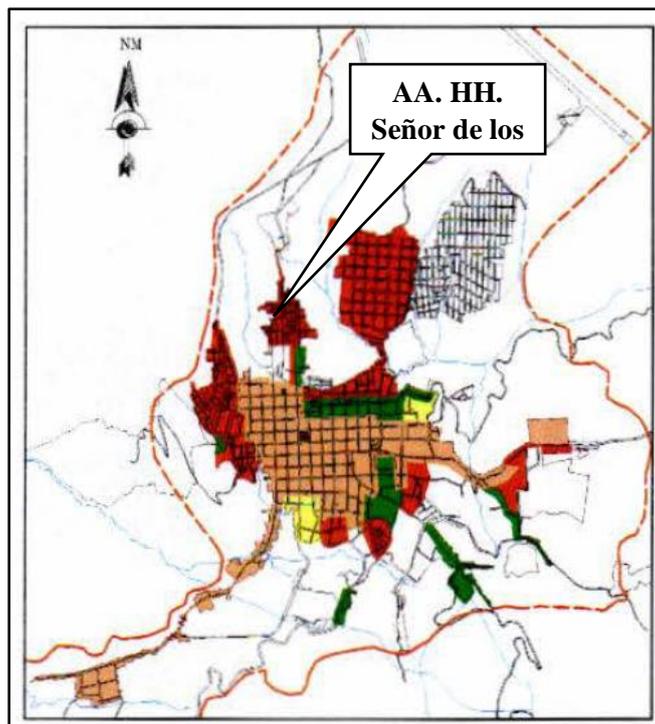
intersección de los Jr. Santa Ana y Chincha Alta, Jr. Santa Ana, Grau, Av. San Juan de la Frontera de los Chachapoyas Hasta Jr. Prolongación La Merced y se emplaza entre depresiones y aportantes a la quebrada Santa Lucia.

El Plan de desarrollo urbano vigente de la ciudad de Chachapoyas, indica que la zona en estudio se caracteriza por el uso residencial, siendo el adobe el material predominante, la afectación de este sector está relacionada principalmente a fenómenos de origen geológico-climático, por la presencia activa de deslizamientos de suelos en las nacientes de ambas márgenes, de las quebradas aportantes a la quebrada Santa Lucia, así como suelos parcialmente de material rocoso y cohesivo que pueden amplificar sismos de magnitud 6 a 7 (Richter) e intensidades sísmicas de VIII a XII (escala M.M.). Este Sector presenta depresiones sujetas a erosión de suelos por escorrentía pluvial generado por intensas lluvias, vías intransitables en épocas de periodos lluviosos, emplazamientos de viviendas al borde de pronunciadas pendientes, situación que sumada a las características de las edificaciones mayormente de adobe con aplicación de sistemas constructivos tradicionales, fragilidad de las viviendas, falta de un sistema de drenaje pluvial integral en este sector especialmente en la parte baja de la Vía de Evitamiento entre la primera cuadra de la Av. Aeropuerto y Prolongación Santo Domingo. La presencia de familias de bajos y escasos recursos económicos la hace más vulnerables ante la presencia de estos tipos de fenómenos.¹³

La importancia de establecer el proyecto en este sector radica en motivar a la población y autoridades a generar un área de expansión urbana futura, en base a viviendas ecoeficientes, para conservar la esencia cultural de la ciudad e implementar tendencias ecológicas a la misma.

13.- Fuente: *Plan de Desarrollo Urbano 2013 (Vigente)– Municipalidad Provincial de Chachapoyas. Pág. 137 – Tomo I.*

Figura N°22. Ubicación urbana de la ciudad de Chachapoyas.



Fuente: PDU Chachapoyas.

En la inspección visual realizada en la zona, se recorrió algunas calles aledañas al terreno proyectado, con la finalidad de reconocer ciertas características típicas de las viviendas, al analizar las edificaciones de adobe que rodean al área de influencia, se identificó algunos aspectos que se deben mejorar en el diseño y asimismo se planteó el siguiente cuadro resumen.

Tabla N° 05. Características típicas de viviendas aledañas al terreno.

Características Típicas	N° de Niveles	Servicios Básicos	Aspectos visibles que mejorar
Viviendas de adobe	Máximo de 2 niveles	Si cuentan	- Baja iluminación natural interior durante el día. - Poca ventilación entre ambientes.
Viviendas de adobe parcialmente construidas	Solo de 1 nivel	Si cuentan	- Tuberías expuestas. - No buena canalización de aguas de lluvia. - Techos generalmente de calamina o teja andina.

Fuente: Elaboración Propia.

4.5. Método analítico

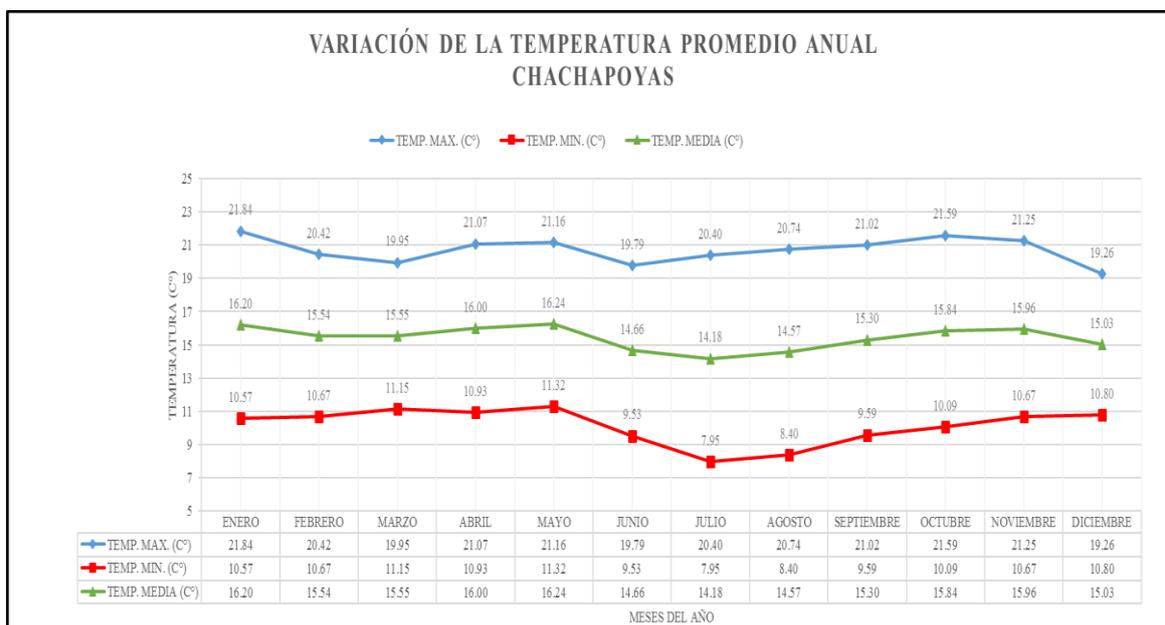
4.5.1. Análisis de las características climatológicas de la zona

- Latitud : 6°12'30".
- Longitud : 77 52' 1.8".
- Departamento : Amazonas.
- Provincia : Chachapoyas.
- Distrito : Chachapoyas.

La variación climatológica mostrada en las figuras N° 21, 22 y 23, fueron obtenidos de la data del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), el cual se detalla en el anexo N° 01.

4.5.1.1. Variación de la temperatura.

Figura N°23. Variación promedio mensual de la temperatura al 2016

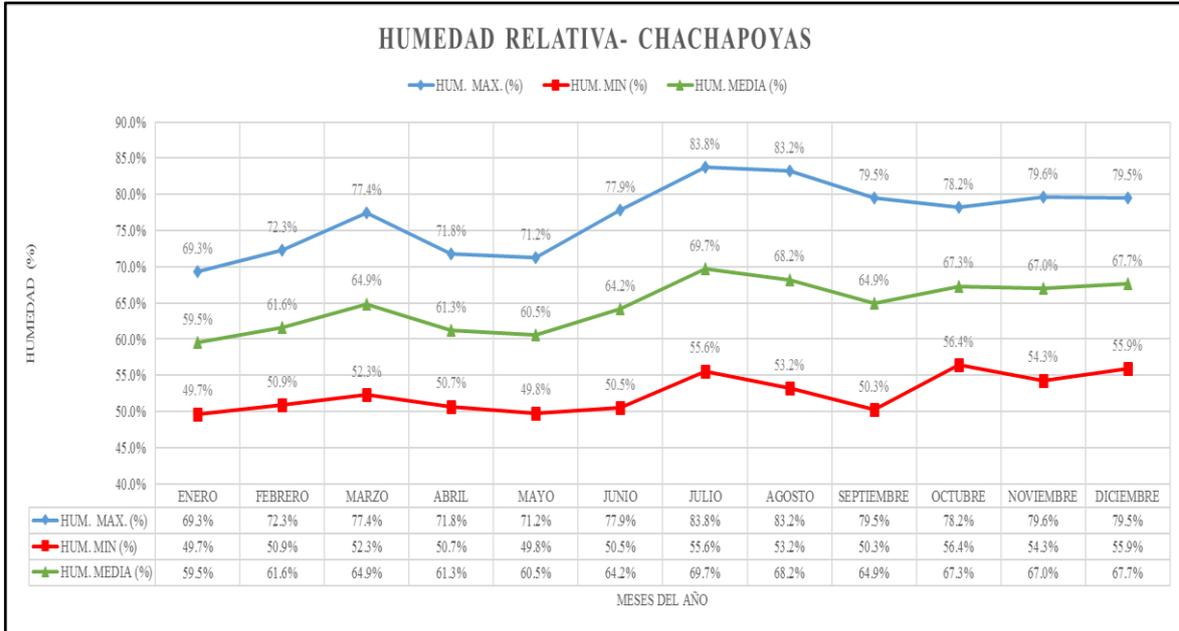


Fuente: Elaboración propia.

Según el estudio realizado, el comportamiento de la variación de la temperatura es casi lineal constante sin cambios notorios entre meses, la temperatura promedio del año fue 15.42°C, siendo los meses de mayor temperatura Abril y Mayo, mientras que los meses de menor temperatura fueron Julio– Agosto.

4.5.1.2. Humedad relativa.

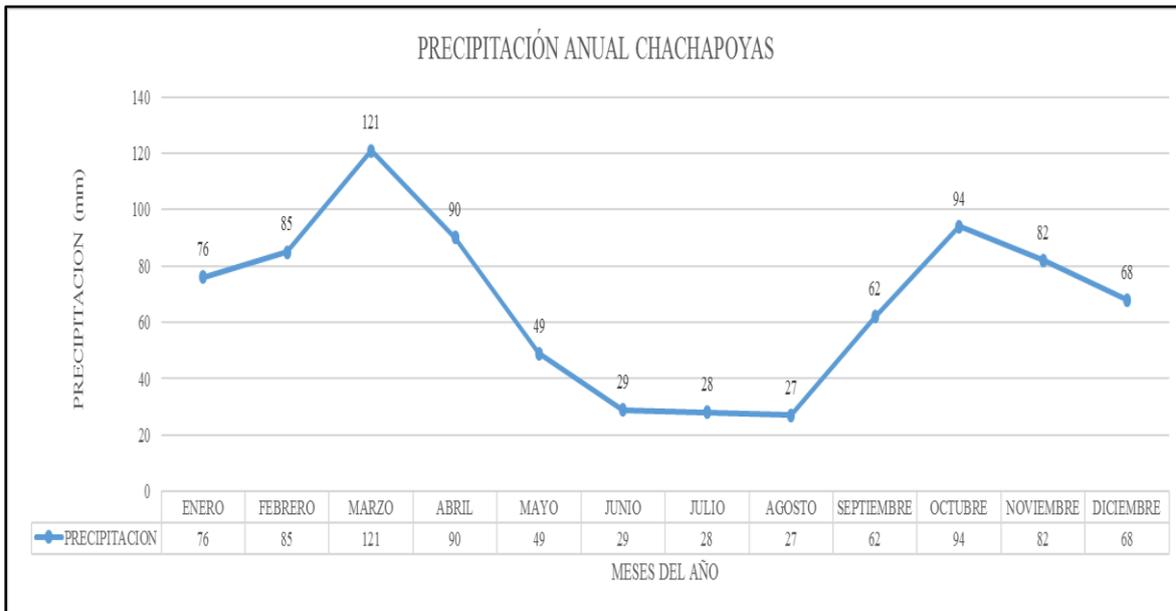
Figura N°24. Variación promedio mensual de la humedad relativa al 2016



Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.3. Precipitaciones

Figura N°25. Gráfica de variación de precipitaciones al 2016.



Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Zonificación bioclimática del Perú.

Se define como la clasificación de la climatología que existe en el país, en la que se considera ciertos parámetros ambientales en grandes áreas geográficas, cuya utilidad principal es aplicar las estrategias necesarias para el diseño bioclimático de edificaciones con eficiencia energética.

Tabla N° 06. Zonas bioclimáticas del Perú.

Zona bioclimática	Definición climática
1	Desértico costero
2	Desértico
3	Interandino bajo
4	Mesoandino
5	Altoandino
6	Nevado
7	Ceja de montaña
8	Subtropical húmedo
9	Tropical húmedo

Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico.

Tabla N° 07. Ubicación de provincia por zonas bioclimática en Amazonas.

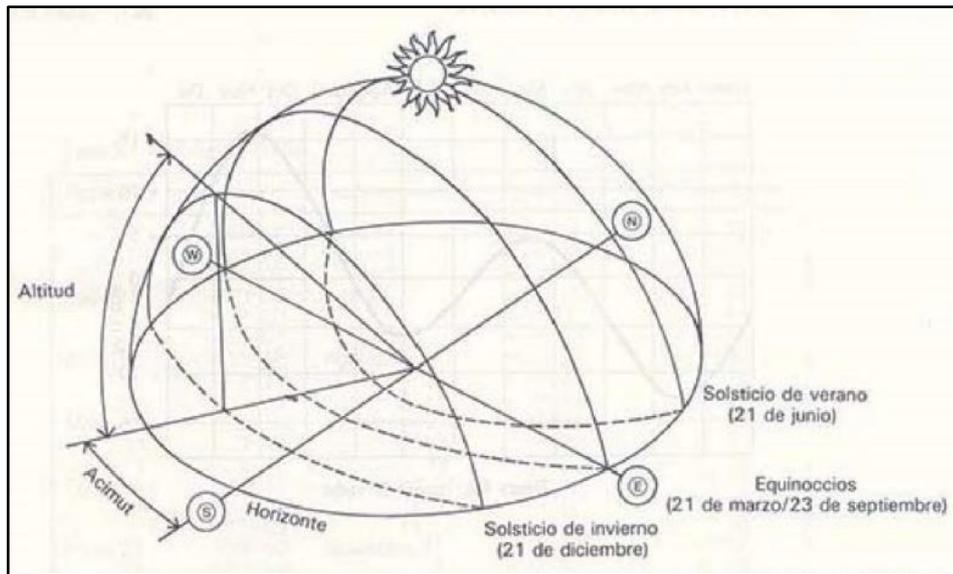
Departamento	(7) Ceja de montaña	(9) Tropical húmedo
Amazonas	Chachapoyas	Bagua
	Utcubamba	Condorcanqui
	Bongará	
	Luya	
	Rodríguez de Mendoza	

Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico.

4.5.3. Análisis de la orientación solares

El Perú se encuentra por debajo de la línea ecuatorial, es decir, pertenecemos al hemisferio sur, por lo tanto, los movimiento o recorridos conocidos como solsticio de verano, equinoccio y solsticio de invierno estarán direccionados hacia la zona norte como muestra la figura N° 24.

Figura N°26. Trayectoria idealizada del sol.



Fuente: Manual de arquitectura solar. pp. 143.

Para un correcto aprovechamiento solar, fue necesario ubicar los sistemas de captación de calor hacia el lado en que mayor influencia tenga el sol, en este caso se orientó hacia el lado norte, ya que cuenta con una mayor cara de desarrollo y por ende mayor radiación, por otro lado, la fachada será orientada hacia el sur, ya que no cumple función de captación solar sino más bien de iluminación natural.

Ya que el país pertenece a la zona tropical en la que se encuentra con una latitud de 23.5°N y 23.5°S , tiene la característica de poseer un recorrido solar casi perpendicular sobre el terreno, algunos estudios de medición mencionan que se debe por la cercanía con la línea ecuatorial, todo esto ubicaría al Perú en un área con buen nivel de radiación e iluminación natural en todas sus zonas climatológicas.

Para aprovechar de mejor forma las condiciones solares es necesario conocer su posicionamiento y el movimiento del sol sobre el terreno proyectado, ya que este será la fuente de energía alterna e iluminación natural de la propuesta.

4.5.4. Asoleamiento, horas de sol del terreno proyectado.

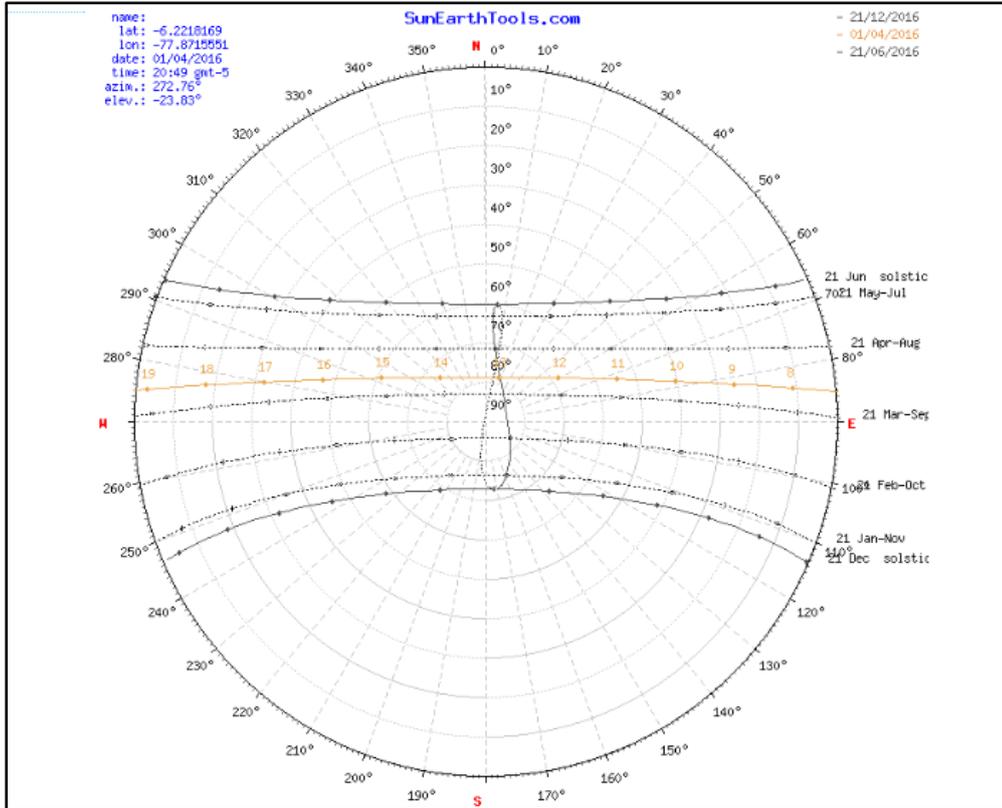
Con ayuda del programa SunEarthTools se pudo obtener la figura N°25, en la que se muestra la trayectoria solar tomada en función a un punto del terreno proyectado. Esta figura indica que la mayor predominancia y recorrido angular y orientación solar a lo largo del año 2016.

Se puede observar que el recorrido de Este a Oeste que realiza el sol, tiende a tener una inclinación de mayor influencia hacia el norte, especialmente entre los meses de Marzo a Septiembre, mientras que en los meses de Enero, Febrero, Octubre, Noviembre y Diciembre se inclina hacia el sur con su recorrido casi perpendicular, lo cual es correcto ya que al estar por debajo de la línea ecuatorial los solsticios tendrán dicha orientación. también se puede utilizar, trazando una línea perpendicular o uniendo los puntos de las líneas paralelas a las que indican las horas del día, para obtener el ángulo y azimut en el que se ubica el sol en un cierto periodo o fecha.

Sin embargo, para el proyecto de diseño de casa ecoeficiente, se utilizó también para conocer la orientación a la que va estar definida el módulo y los ambientes, por lo tanto, se deduce que los sistemas de captación solar tienen que orientarse hacia el norte y techo superior, mientras que la captación de iluminación será de preferencia hacia el este y oeste ya que corresponde a mayor tiempo de iluminación, pero también serán incluidos los vanos en la fachada orientado hacia el sur para darle funcionalidad y ventilación al diseño.

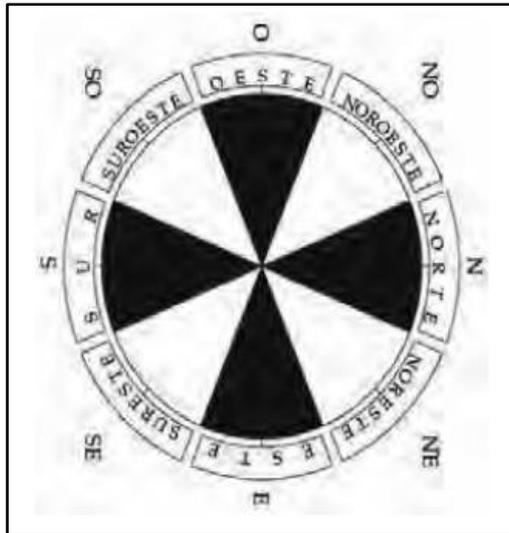
En cuanto a la energía solar, según datos históricos se promedia que en la localidad de Chachapoyas la radiación solar alcanza los 5 kw/m^2

Figura N°27. Diagrama estereográfico solar del terreno proyectado.



Fuente: SunEarthTools.com.

Figura N°28. Orientación predominante de las ventanas.



Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico

Para cumplir con las condiciones necesarias en la captación de iluminación y energía solar, la normativa EM 110 Confort térmico y lumínico del Reglamento Nacional de Edificaciones, propone los ángulos de incidencia

solar para el diseño de las protecciones en las ventanas según su orientación (Fig. N° 23), se aplica cuando la radiación llega a ser elevada y afecta el confort dentro de los ambientes, por lo que para evitar sobrecalentar al sistema diseñado manteniendo la iluminación natural se utiliza los siguientes ángulos.

Tabla N°08. Angulo de diseño de protección según orientación de fachada.

ORIENTACIÓN NORTE	LATITUD	ÁNGULO
	SUR	
	0°	58
	2°	56
	4°	54
	6°	52
	8°	50
	10°	48
	12°	46
	14°	44
	16°	42
	18°	40

Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico

4.5.5. Análisis de envolventes

Se considera envolvente a los elementos constructivos de la edificación que los separan del ambiente exterior, estos pueden ser muros, techos o pisos. El análisis de envolventes es necesario en el diseño de la vivienda porque permitirá evaluar la transmitancia térmica en cada elemento del diseño y reconocer la ganancia o pérdida de calor en función a las temperaturas externas, este procedimiento es un indicador para ser comprado con la Norma EM 110, del Reglamento Nacional de Edificaciones, la cual contiene las cantidades máximas de transmitancia térmica para cada zona bioclimática, si los valores calculados del diseño

son menores a los que indica la norma, se puede decir que el diseño es óptimo térmicamente.

La normativa comprende 4 variedades de envolventes las cuales pueden ajustarse al diseño y/o arquitectura de la edificación, en la presente investigación se consideró el uso de las envolventes tipo I, para las envolventes de mayor influencia, es decir, para los muros, pisos y techos.

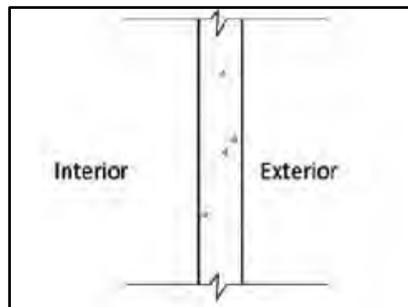
Envolvente tipo I

Para brindarle la funcionalidad de confort térmico al proyecto se consideró como las envolventes de mayor influencia las que están en contacto con el exterior, ya que serán aquellas que capten la energía y distribuyan de acuerdo con la geometría interna. A continuación, se describe las características de cada envolvente principal (muro, pisos y techos), que se tomaron en cuenta para el diseño propuesto según la normativa EM 110 confort térmico y lumínico:

Tipo IA:

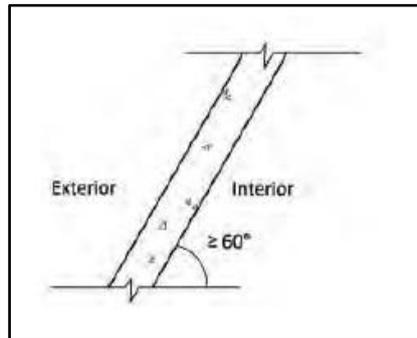
Muro vertical o muro inclinado igual o mayor a 60° con la horizontal de separación entre el interior de la edificación con el ambiente exterior. También se incluyen dentro de este caso, las puertas, ventanas, mamparas y otros vanos verticales que conforman este tipo de muro, que separen al interior de la edificación con el exterior. ¹⁵

Figura N°29. Envolvente tipo muro horizontal.



Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico

Figura N°30. Envoltente tipo muro inclinado.

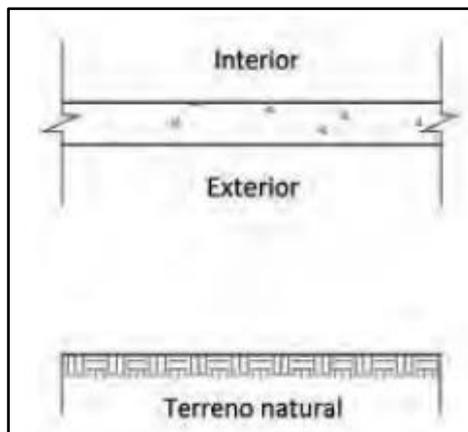


Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico

Tipo IB:

Se consideran losas horizontales o ligeramente inclinadas de separación entre el interior de la edificación con el exterior. En caso de pisos se considera al espacio exterior al terreno natural.

Figura N°31. Envoltente tipo losas y pisos.



Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico

15.- Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma EM 110 "Confort Térmico y lumínico", numeral 5.29. Envoltente.

Tabla N°09. Resistencia térmica superficiales el exterior e interior de envolventes en contacto con el exterior en m^2k/w

Posición de la envolvente y sentido del flujo de calor	Rse	Rsi
Envolvente vertical o con pendiente sobre la horizontal de $>60^\circ$ y flujo de calor horizontal	0.04	0.13
Envolventes horizontales o con pendientes sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo de calor ascendente	0.04	0.10
Envolvente horizontal y flujo descendente	0.04	0.17

Fuente: NBE CT-79,p.23

4.5.6. Análisis de térmico

Para el análisis térmico de los elementos de la vivienda diseñada, es necesario conocer los fenómenos que se pueden producir en la funcionalidad térmica de la propuesta.

- Transmisión de calor en régimen estacionario, se refiere a que cuando la temperatura dentro de la vivienda es igual a la del exterior, en donde se deduce que la transferencia de calor entre ambas será constante o estacionario.
- Transmitancia térmica (U), es el factor para identificar el comportamiento térmico del diseño. Es el flujo de calor dividido por el área y por la diferencia de temperaturas del exterior con el interior.

Tabla N°10. Valores máximos de transmitancia térmica (U).

Zona bioclimática	Transmitancia térmica máxima para muro (U_{muro})	Transmitancia térmica máxima para techo (U_{Techo})	Transmitancia térmica máxima para piso (U_{Piso})
1.- Desértico costero	2.36	2.21	2.63
2.- Desértico	3.20	2.20	2.63
3.- Interandino bajo	2.36	2.21	2.63
4.- Mesoandino	2.36	2.21	2.63
5.- Altoandino	1.00	0.83	3.26

6.- Nevado	0.99	0.80	3.26
7.-Ceja de montaña	2.36	2.20	2.63
8.- Subtropical húmedo	3.60	2.20	2.63
9.-Tropical húmedo	3.60	2.20	2.63

Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico

El cálculo de la transmitancia térmica se deberá realizar para cada envolvente (muros, techos y pisos), asimismo si cada envolvente está compuesta por diferentes materiales o capas, se calcula por cada uno de estos, por ejemplo, en el caso de muros se calcula la transmitancia por cada uno de sus componentes, es decir, U_{adobe} , $U_{Acabado}$, $U_{puertas}$, $U_{ventanas}$, $U_{vidrios}$, por lo tanto la sumatoria de todos estos será la transmitancia que corresponde al muro, el mismo procedimiento se realizara para los techos y pisos.

El cálculo de la transmitancia térmica por envolvente se realizará con la siguiente expresión:

$$(U)_{final} = \frac{\sum Si \times Ui}{\sum Si} = \frac{S1xU1+S2xU2+S3xU3+\dots}{S1+S2+S3+\dots}$$

Donde:

$\sum S_1$: Suma total de las Superficies de cada tipo material que compone la envolvente.

$\sum S_1 \times U_1$: Es el producto del área por el valor de transmitancia térmica de cada material que compone la envolvente.

Con el cálculo de la transmitancia térmica para todas las envolventes del diseño, con la formula anterior, se obtendrá las $(U)_{final}$ para muros, techos y pisos, las cuales deberán ser comparadas con las U_{max} de la Tabla N° 13.

- Si $U_{final} \leq U_{max}$, entonces el diseño cumple térmicamente será confortable.

- Si $U_{final} > U_{max}$, entonces el diseño no es aceptado, se deberá redimensionar los elementos o verificar la calidad de los materiales.

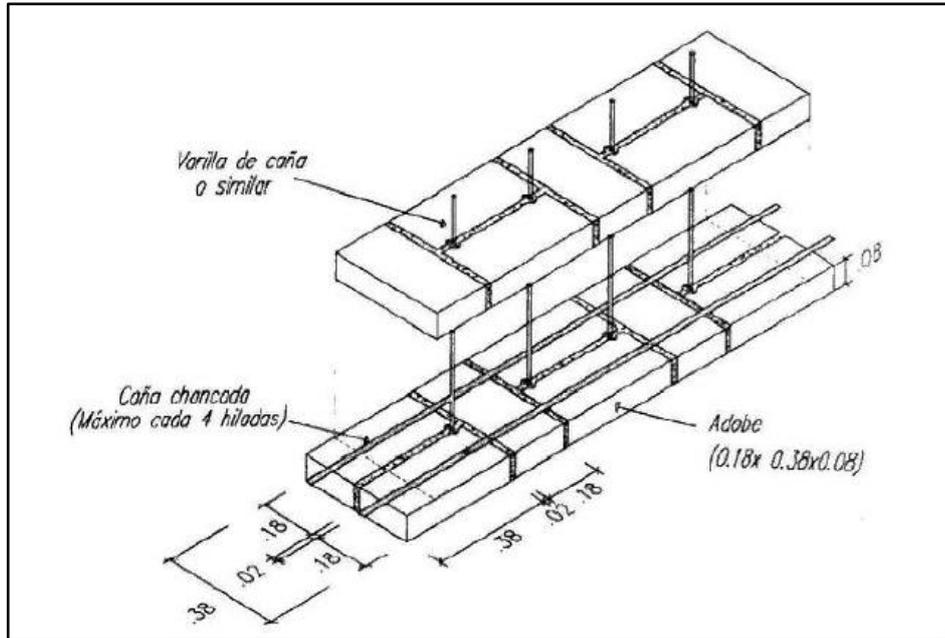
4.5.7. Análisis de estabilidad

El modelo planteado corresponde a un sistema estructural de albañilería en base a bloques de adobe, para la presente investigación el estudio estructural es complementario, ya que se busca brindarle seguridad y estabilidad a la propuesta, pero sin desviar la idea principal de crear un diseño de vivienda ecoeficiente. Por lo tanto, el análisis estructural se basó en los criterios de la investigación plasmada en el libro: “Diseño sísmico de construcciones de adobe”, del ingeniero Roberto Morales y otros, publicado por la Universidad Nacional de Ingeniería.

En el libro, los cálculos se resumen en tablas cuyos valores corresponden a viviendas económicas de adobe de 2 niveles. Bajo esas condiciones el trabajo se reduce al análisis de las cargas a las que estará expuesta el diseño y verificación de las secciones propuestas, teniendo en cuenta las condiciones de la arquitectura y condiciones del terreno.

En la norma E.080 Adobe, menciona que el comportamiento sísmico de las construcciones de adobe no reforzados generalmente tienden a fallar frágilmente, por la baja resistencia a la tracción de las unidades especialmente en los amarres de las esquinas de los muros, provocando el aislamiento unos de otros, si se llega a controlar la falla en las aristas de los muros, este podrá resistir la fuerza sísmica en su plano, sin embargo será necesario controlar las fuerzas por corte para evitar la grietas transversales en la sección de muro.

Figura N°32. Dimensiones de muro de adobe.



Fuente: RNE - Norma E.080 – Adobe.

Esfuerzo admisible por compresión del muro:

Para el diseño óptimo de los muros es necesario conocer el esfuerzo permisible de compresión.

$$F_m = \phi_r \times \phi_c \times \phi_e \times \phi_i \times f'_m$$

Donde:

F_m : Esfuerzo admisible.

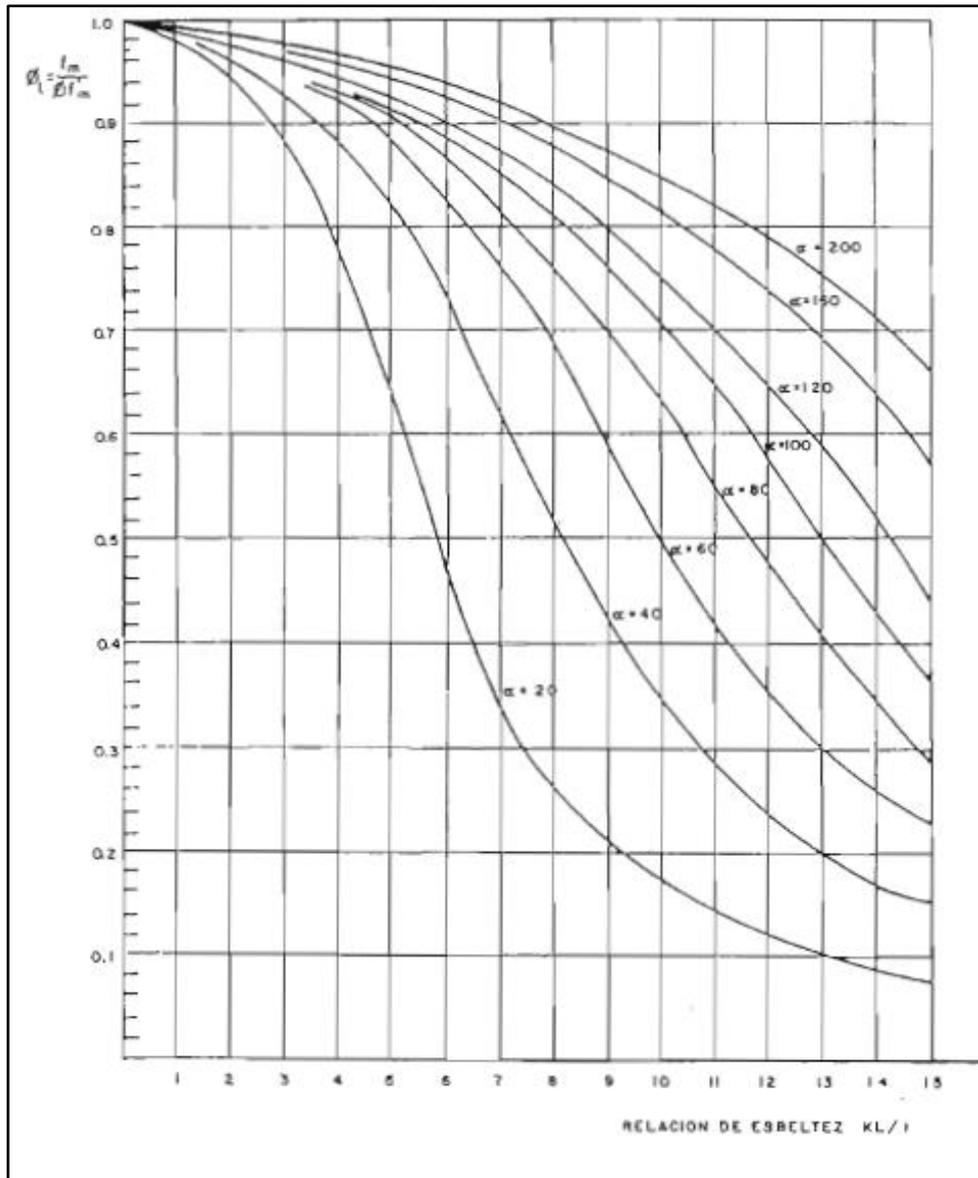
f'_m : Esfuerzo de rotura nominal

$\phi_r, \phi_c, \phi_e, \phi_i$: Coeficientes de reducción por variabilidad de resistencia del bloque, variación de cargas, por excentricidad y esbeltez.

Reemplazando los valores de ϕ_r, ϕ_c, ϕ_e , por 0.63, 0.70 y 0.5 respectivamente, considerados en el libro: “Diseño sísmico de construcciones de adobe”, el esfuerzo admisible se reduce a la siguiente expresión:

$$F_m = 0.22 \times \phi_i \times f'_m$$

Figura N°33. Curvas para la determinación de esfuerzo admisible en muros portantes.



Fuente: Morales, R. y otros. "Diseño sísmico de construcciones de adobe" pág. 27

Condiciones físicas para el diseño:

- Espesor mínimo de muro : $e = 0.30\text{m}$.
- Distancia de los vanos a las esquinas : $3(e)\text{ m}$.
- Longitud de muros no arriostrado : $10(e)\text{ m}$.
- Esbeltez máxima para muros : 3.00 m .
- Profundidad mínima de cimiento : 0.60m .
- Mochetas : moch. = e .

4.5.8. Análisis de la distribución de áreas propuestas

Para el óptimo funcionamiento de las edificaciones sostenibles, es necesario identificar las áreas y actividades para la cual está proyectada, en la presente investigación, el diseño se plantea con fin de vivienda por lo que los ambientes se clasificaran en tres áreas funcionales:

Primer nivel

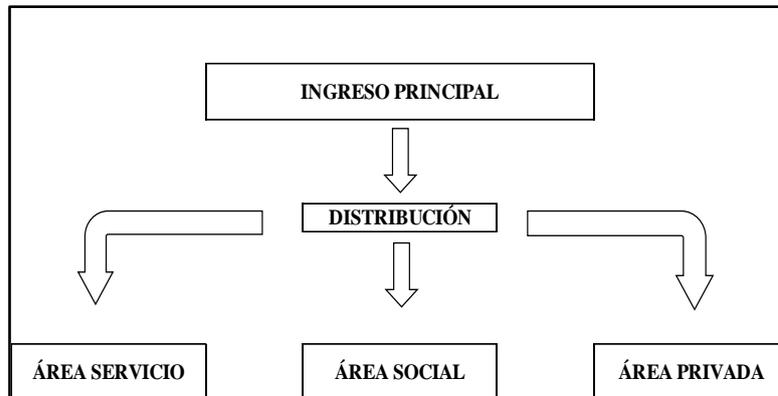
- ***Área de servicio:***
 - Cocina.
 - Comedor.
- ***Área de social:***
 - Recepción.
 - Sala
 - Baño visitas.
- ***Área privada:***
 - Habitación 01 + baño propio
 - Habitación 02 + baño propio.

Segundo nivel

- ***Área de servicio:***
 - Lavandería.
 - Tendal.
- ***Área privada:***
 - Habitación 03.
 - Habitación 04.
 - Baño compartido.

Diagrama funcional.

Figura N°34. Diagrama funcional de la vivienda propuesta.



Fuente: Elaboración propia.

El área social es por donde empieza la funcionalidad ya que necesariamente debe estar al inicio para la recepción de visitantes, en segunda instancia las áreas de servicio que más se utiliza en las actividades del hogar, teniendo lugar por el centro de la vivienda para acceso rápido de cualquier ambiente, en cambio las habitaciones en el fondo para mantener la privacidad a cada usuario, ecológicamente las habitaciones estarán calefaccionada por muros trompe es por eso que deben estar orientadas a la dirección de mayor permanencia del sol, es decir, vista al norte.

4.6. Método de diseño con sistemas pasivos

4.6.1. Método de Mahoney

El método de Carl Mahoney está diseñado para brindar soluciones ecológicas a los proyectos de viviendas especialmente en zonas de climatización variada, la cual se ajusta a las características de la ciudad de Chachapoyas.

El principio en el que se basa el método es la comparación de las condiciones climáticas de la zona con la caracterización de confort, consiste en completar las tablas planteadas por el autor en donde se introducen datos climatológicos y de acuerdo con el procesamiento de

estos se obtienen recomendaciones a tomar en cuenta para el diseño y distribución de la vivienda.

Para desarrollar el método es importante tomar en cuenta las reglas y tablas que este plantea, para obtener la información más exacta posible.

Pasos que seguir:

1.- *Introducción de datos climatológicos.* - Una vez realizado el estudio climatológico y teniendo las temperaturas medias de cada mes, así como las precipitaciones y cantidad de humedad, estas se introducen en las tablas de inicio, ya que serán los únicos datos que el método requiera para su procesamiento.

2.- *Estrés térmico.* - Se refiere a la sensación térmica que sentirá el usuario en base a los datos meteorológicos insertados anteriormente, esta caracterización se obtendrá también mensualmente las cuales pueden ser: Sensación térmica de calor, Sensación térmica de frío o Confort.

3.- *Indicadores.* - Cuando se haya reconocido las características climatológicas de la zona, se activarán los indicadores que se adecuen a la realidad existente, estos servirán para elaborar el diseño térmico. Cabe mencionar que no siempre se activan todos los indicadores, sino los cuales sirvan para aumentar o disminuir la temperatura según corresponda. Los indicadores son:

H1: Debido a la humedad y el calor es necesaria la ventilación

H2: Debido a la humedad y el calor es recomendable la ventilación

H3: Debido a la intensidad de las precipitaciones, es necesario prever protección para la lluvia

A1: La utilización de la inercia térmica ayudará en el confort interior del edificio

A2: Puede ser necesario dormir en el exterior

A3: Frío; es necesario disponer de mecanismos naturales o artificiales de climatización

4.- *Recomendaciones para el diseño.* – Después del análisis realizado el método brindará recomendaciones para plasmar en el diseño, estas pueden ser las siguientes:

- En función a la masa del edificio, Se refiere a la orientación más conveniente de la edificación para captar calor o si fuera necesario para reducir el calor y mantener confort dentro. Así también la inclusión de patios si fuera necesario para la ventilación.
- Espaciamiento con el exterior, se refiere a la necesidad de implantar una significativa separación a las viviendas colindantes, ya que pueden servir como sistemas de cámaras de aire para ventilación y circulación.
- La opción de implementar un sistema de circulación de aire, de acuerdo con las condiciones climatológicas a lo largo del año, se identificará si la circulación será permanente en todas las estaciones o un sistema parcial en ciertas épocas, tiene que ver con el grado de humedad percibido y la inercia térmica que requiere para conservar el clima en el interior. La circulación del aire es importante para mantener el equilibrio térmico dentro de la vivienda.
- Dimensionamiento de los vanos, el método nos indica los tamaños óptimos para cada vano de la edificación, es decir, el porcentaje de vano de acuerdo con el tamaño del muro.
- Inclusión de muros ligeros o muros de gran inercia térmica.
- Condiciones del techo, los cuales pueden ser techos ligeros, con aislamiento térmico o con construcción complejas de fuerte inercia térmica recepcionante de calor.

Tabla N°11. Límites de confort según Mahoney.

Grupo de Humedad	Temperatura media anual					
	A		B		C	
	mayor a 20 °C		entre 15 y 20 °C		menor a 15 °C	
	día	noche	día	noche	día	noche
1	26-33	17-25	23-31	14-23	21-30	12-21
2	25-30	17-24	22-29	14-22	20-27	12-20
3	23-28	17-23	21-27	14-21	19-26	12-19
4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Fuente: Hoja de cálculo: "Tabla de Mahoney", desarrollada por Víctor Fuentes Freixanet – Universidad Autónoma Metropolitana.

Tabla N°12. Indicadores para el diagnóstico según Mahoney.

SI					ENTONCES
Estrés		Precipitación pluvial	Grado de Humedad	Oscilación media	
diurno	nocturno				
C			4		1
C			2, 3	<10°	1
0			4		2
		>150			3
			1, 2, 3	>10°	4
	C		1, 2		5
C	0		1, 2	>10°	5
F					6

Fuente: Hoja de cálculo: "Tabla de Mahoney", desarrollada por Víctor Fuentes Freixanet – Universidad Autónoma Metropolitana.

Tabla N°13. Grados de humedad según Mahoney.

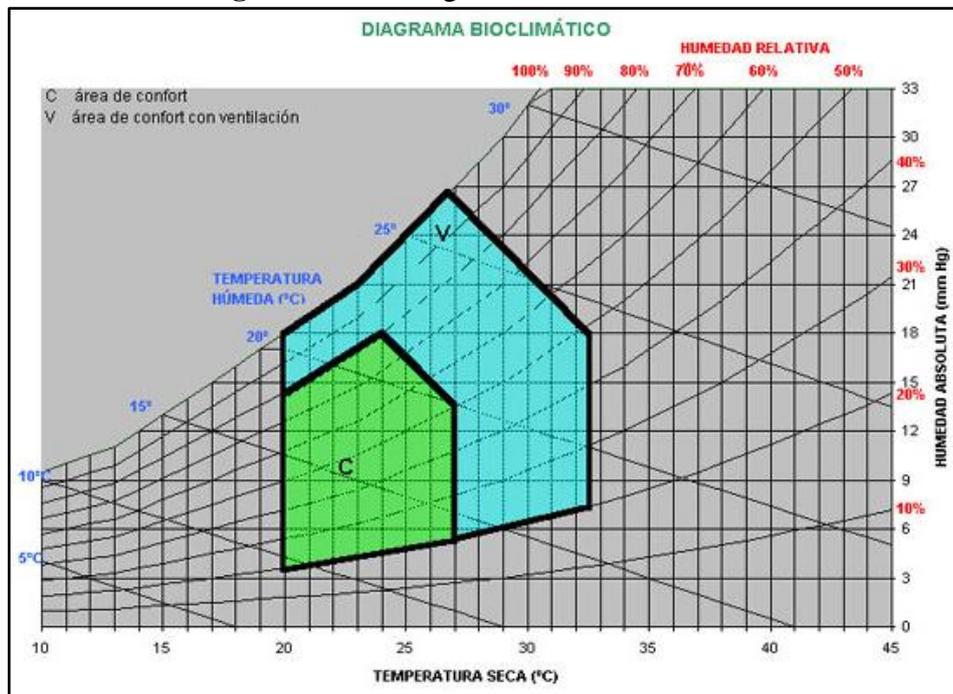
	Humedad relativa (%)			
	<30	30-50	50-70	>70
Grado de Humedad	1	2	3	4

Fuente: Hoja de cálculo: "Tabla de Mahoney", desarrollada por Víctor Fuentes Freixanet – Universidad Autónoma Metropolitana.

4.6.2. Consideraciones del confort térmico para el diseño

Para el procedimiento de diseño se utilizó la teoría de confort térmico y el diagrama climatológico propuesto por Givoni. Bajo estas condiciones según el confort térmico está comprendido dentro de los siguientes parámetros 20°C y 27°C, y humedades relativas entre el 20 y 80%. Existe otra área de confort que es con ventilación, esta condición generalmente se toma en cuenta en zonas con temperaturas altas en donde es necesario liberar calor, para la presente investigación no se tomó en cuenta esta sección.

Figura N°35. Diagrama de área de confort.



Fuente: Palacios, B. (2007). *la casa ecológica leonesa*, (1era edición). Guanajuato: editorial Rezza. pp. 99.

El diseño de la vivienda térmica está basado en la metodología de las tablas de Mahoney, se verificará que las temperaturas óptimas de confort que resulten del método se encuentren dentro de zona “C” (verde).

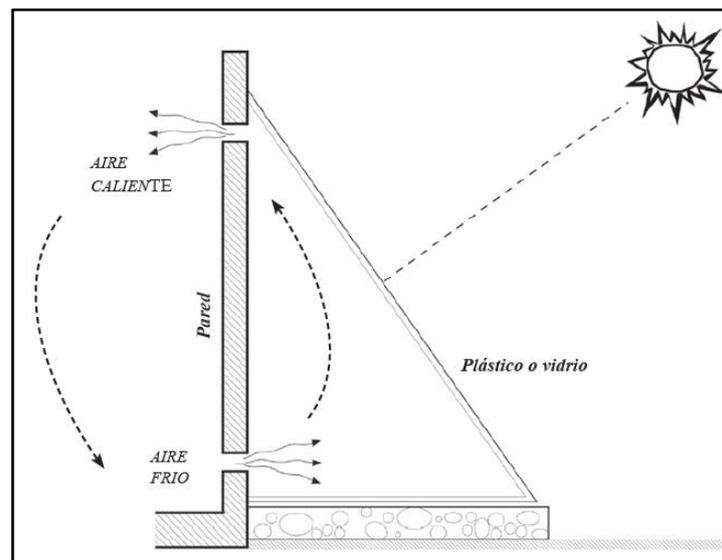
Para el análisis del confort se comprobará verificando la cantidad de temperatura en el interior de cada ambiente de la edificación diseñada, si cada punto está dentro de los parámetros entre 20°C – 27°C, el ambiente es considerado como confortable y el diseño es aceptado.

4.6.3. Diseño de muros Trombe

Los muros Trombe son un sistema pasivo de recolección y distribución de calor, sirve para mantener la temperatura optima dentro de una edificación en función a las condiciones del exterior. Se trata en crear una cámara de aire entre la pared de la edificación y un material de buena densidad térmica como el vidrio a una cierta distancia, dicha pared deberá contar con agujeros en la parte superior e inferior para el intercambio de calor.

Su funcionalidad consiste en que durante el día el aire entre la pared y el vidrio se caliente y se eleve hasta la parte alta del muro Trombe ingresando al interior de la edificación por los agujeros superiores colocados en la pared, mientras tanto el aire frio se traslada a la cámara del muro Trombe por los agujeros inferiores y de durante los periodos del día se calentara y continuara el ciclo. Se recomienda que la pared donde se ubica el muro Trombe sea pintado de color negro, ya que este ayudara a la absorción de los rayos del sol y transporte el calor ganado para liberarlo dentro de la habitación.¹⁶

Figura N°36. Funcionalidad del muro Trombe.



Fuente: Fuente: PUCP, KoñiWasi: Casa Caliente.

16.- Fuente: PUCP, Grupo de apoyo al sector rural (2009). KoñiWasi: Casa Caliente. Lima. Pag. 06.

Las dimensiones del muro Trombe se basaron en las consideraciones de la publicación elaborada por el grupo de apoyo al sector rural de la PUCP, KoñiWasi: casa caliente, en la cual proponen algunas tablas a tomar en cuenta para un diseño óptimo.

Tabla N°14. Área del muro Trombe.

Área de la habitación (m ²)	Área del muro Trombe y numero de orificios					
	Lugares templados	N° de orificios	Lugares fríos	N° de orificios	Lugares muy fríos	N° de orificios
9 – 11	5	8	7	10	8.5	12
12 – 14	6.5	10	9	14	11	16
15 – 17	8	12	11	16	13.6	20
18 – 20	9.5	14	13.5	20	16.5	24
21 - 23	11	16	15.5	24	19	28

Fuente: PUCP, Grupo de apoyo al sector rural (2009). KoñiWasi: Casa Caliente. Lima. Pág. 07.

Tabla N°15. Dimensionamiento de muro Trombe.

Inclinación del muro Trombe	
Altura del muro Trombe (m)	Ancho de muro Trombe (cm)
1.5	60
1.7	68
1.9	76
2.1	84

Fuente: PUCP, Grupo de apoyo al sector rural (2009). KoñiWasi: Casa Caliente. Lima. Pág. 08.

En función a la ubicación en la que se encuentra el Perú (hemisferio sur), el muro Trombe debe estar dirigido hacia el norte para mayor aprovechamiento del sol.

Las ventajas para la inclusión de muros Trombe en el diseño térmico:

- Es un sistema de captación de calor con tecnología aplicable a la zona, de fácil adaptación a las construcciones típicas del lugar y no se requiere mucho espacio para ser incorporado, generalmente podría distinguirse como un detalle arquitectónico del diseño.
- Es un sistema de captación de calor pasivo, no contaminante y no necesita sistemas eléctricos o mecánicos para su funcionamiento.

- Ayuda a alcanzar el confort al diseño, refrescando en épocas de verano generando libertad de térmica y proporcionando mayor calor en temporadas de invierno.
- El área en contacto con los muros Trombe servirá como distribuidor de calor para las demás secciones de la vivienda.

4.6.4. Cálculo de condensaciones superficiales

Para que el diseño matemático funcione y la temperatura teórica interna calculada se mantenga, se debe cumplir que las envolventes (muros, pisos y techos), no deben presentar condensaciones en las superficies interiores por que pueden degradar las condiciones de diseño establecidas.

Por eso la temperatura interna superficial (T_{si}) deberá ser mayor a la temperatura del rocío (T_r).

$$T_{si} > T_r$$

La temperatura superficial interior por envolvente se calcula con la siguiente expresión:

- Muros : $T_{si} = T_i - U_{muro} \times R_{si} \times (T_i - T_e)$.
- Techos : $T_{si} = T_i - U_{techo} \times R_{si} \times (T_i - T_e)$.
- Pisos : $T_{si} = T_i - U_{pisos} \times R_{si} \times (T_i - T_e)$.

Donde:

T_{si} : Temperatura superficial interior de la envolvente.

T_i : Temperatura del ambiente interior en °C. (ver tabla N° 16).

T_e : Temperatura del ambiente exterior.

U : Transmitancia térmica de la envolvente calculada.

R_{si} : Resistencia térmica superficial interior.

Tabla N°16. Valores de T_i por tipo de uso de edificaciones.

Edificación	Temperatura del ambiente interior (T_i) en °C
Vivienda	18
Bibliotecas, archivos.	15 – 18
Oficinas.	20
Restaurantes.	20
Grandes almacenes.	20
Cines y teatros.	20

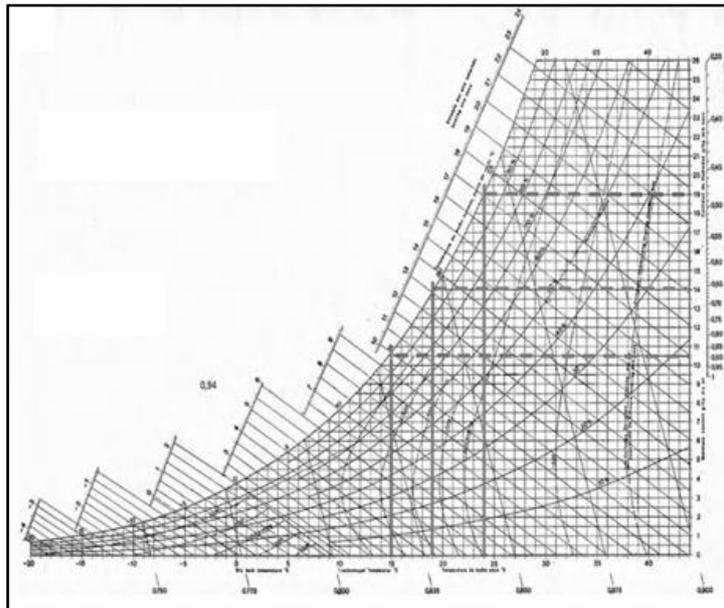
Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico

Para encontrar la resistencia térmica superficial interior (R_{si}), se deben escoger los valores por zona bioclimática según la Norma EM 110.

- 0.11 m² k/w para muros en cualquier zona bioclimática.
- 0.09 m² k/w para techos o pisos, en las zonas bioclimáticas 4, 5, 6.
- 0.17 m² k/w para techos o pisos, en las zonas bioclimáticas 1,2,3,7,8,9.¹⁷

Para hallar el valor de la temperatura del rocío (T_r), se utilizará el siguiente ábaco psicrométrico.

Figura N°37. Diagrama Psicrométrico para temperatura del rocío.



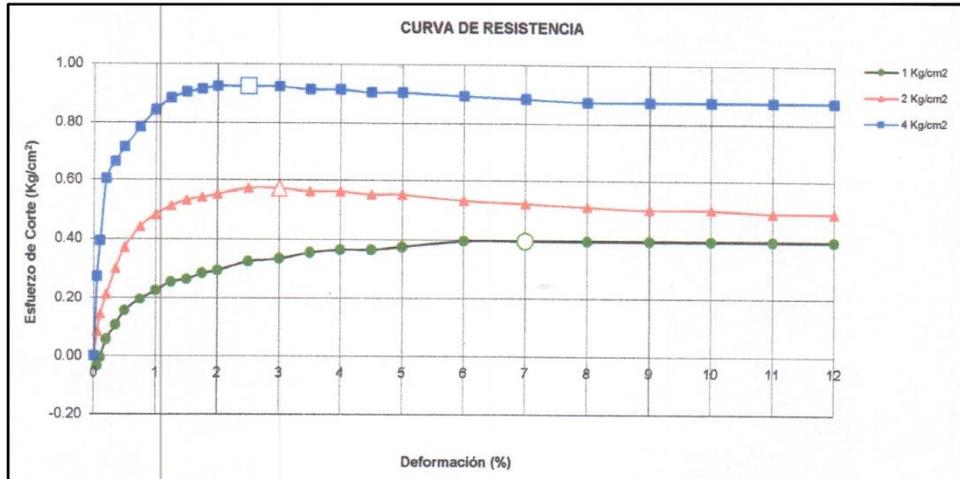
Fuente: RNE - Norma EM 110 Confort térmico y lumínico

V. RESULTADOS

5.1. Características físicas del terreno proyectado.

5.1.1. Características del suelo.

Figura N°38. Curva de resistencia del suelo.



Fuente: Elaboración propia de ensayo de mecánica de suelos

Figura N°39. Clasificación y condiciones físicas del terreno.

CLASIFICACION SUCS	
CL, arcillas inorgánicas de mediana plasticidad.	
L.L. :	42.92
L.P. :	22.57
I.P. :	20.35
CLASIFICACION AASHTO :	
A - 7 - 6 (0)	
OBSERVACIONES: HUMEDAD NATURAL 18.30%	

Fuente: Elaboración propia de ensayo de mecánica de suelos

17.- Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma EM 110 "Confort Térmico y lumínico", numeral 5.29. Anexo N° 04.

5.1.2. Condiciones de topografía y áreas.

El terreno propuesto para realizar el diseño de la vivienda ecoeficiente consta de un área de 155m², dicha área es típica en terrenos de los alrededores, asimismo, la topografía con la que cuenta es regular (pendiente máxima 5%).

Para la ubicación en coordenadas UTM, se realizó la toma de un punto de referencia en la esquina hasta donde llega el Psj. Matiaza Rimachi, a partir del cual conocerán las áreas promedio de los lotes.

Coordenadas UTM de referencia:

N: 9'322,408.12

E: 182,183.12

5.2. Diseño de los sistemas pasivos de aprovechamiento térmico.

5.2.1. Confort térmico para el diseño

Para medir alcanzar el confort en el diseño se tomara en cuenta lo mencionado en la figura N° 33, donde se puede apreciar las áreas de confort según la metodología de Givoni, si se compara con las temperaturas promedio obtenidas de la figura N° 21, se deduce que la ciudad de Chachapoyas a pesar de no sufrir de extremas bajas temperaturas, se encuentra en discomfort, sin embargo de acuerdo al análisis, las características ambientales permiten que se coloque en una zona II del gráfico, lo que quiere decir que se puede lograr llegar al confort pleno con un control de la arquitectura y envolventes de mayor inercia térmica, es decir diseño pasivo.

Con la temperatura promedio de 15.42 y humedad relativa promedio de 64.70%, se deduce que la temperatura para alcanzar el confort térmico según la metodología de Givoni, se encuentra entre los 21° y 27° sin ventilación, con retención de calor dentro de la edificación.

Utilizando la ecuación de Szokolay:

$$T_n = 17,1 + 0,31(T_{mp}) \pm 2, \text{ donde:}$$

T_n = Temperaturas neutra.

T_{mp} = Temperatura promedio del mes más frío

$$T_n = 17,1 + 0,31(14,18) \pm 2 = 19,39 \text{ y } 23,39.$$

En donde se tomará la temperatura de 19.39°C a 21 °C como el área de semiconfort, y de 21°C a 23.39°C será el área de confort óptimo.

Tabla N°17. Límites de confort óptimo calculado al año 2016

Metodología	Zona de semiconfort	Temp. mínima de confort	Temp. máxima de confort
Givoni	19.39°C- 21°C	21°C	23.39°C

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2. Diseño con tablas de Mahoney

El diseño con las tablas de Mahoney se realizó utilizando la hoja de cálculo en donde los datos obtenidos anteriormente en el análisis climatológico se introdujeron obteniendo así los siguientes resultados para el diseño:

Tabla N°18. Introducción de datos meteorológico a las tablas de Mahoney.

Ciudad	Chachapoyas	
LATITUD	6 12' 30"	
LONGITUD	77 52' 1.8"	
ALTITUD	2,334	msnm

Tabla de Datos Climáticos

fte	PARAMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURAS															
A	MAXIMA	°C	21.84	20.42	19.95	21.07	21.16	19.79	20.40	20.74	21.02	21.59	21.25	19.26	20.71
A	MEDIA	°C	16.20	15.54	15.55	16.00	16.24	14.66	14.18	14.57	15.30	15.84	15.96	15.03	15.42
A	MINIMA	°C	10.57	10.67	11.15	10.93	11.32	9.53	7.95	8.40	9.59	10.09	10.67	10.80	10.14
D	OSCILACION	°C	11.27	9.75	8.80	10.14	9.84	10.26	12.45	12.34	11.43	11.50	10.58	8.46	10.57
HUMEDAD															
D	H.R. MAXIMA	%	69.30	72.30	77.40	71.80	71.20	77.90	83.80	83.20	79.50	78.20	79.60	79.50	76.98
A	H.R. MEDIA	%	59.50	61.60	64.90	61.30	60.50	64.20	69.70	68.20	64.90	67.30	67.00	67.70	64.73
D	H.R. MINIMA	%	49.70	50.90	52.30	50.70	49.80	50.50	55.60	53.20	50.30	56.40	54.30	55.90	52.47
PRECIPITACION															
A	MEDIA (Total)	mm	76.0	85.0	121.0	90.0	49.0	29.0	28.0	27.0	62.0	94.0	82.0	68.0	811.0

Fuente: Hoja de cálculo de Víctor Fuentes Freixanet – Universidad Autónoma Metropolitana.

Datos: Elaboración propia.

Tabla N°19. Condiciones de humedad y confort obtenidos.

TABLAS DE MAHONEY

E	Grupo de Humedad		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Confort diurno														
E	Rango superior	°C	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
E	Rango inferior	°C	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

Fuente: Hoja de cálculo de Víctor Fuentes Freixanet – Universidad Autónoma Metropolitana

Datos: Elaboración propia.

- Según los indicadores de Mahoney de la tabla N° 12, la humedad relativa de la zona es de grado 3, ya que se encuentran entre los parámetros de 50% - 70%.
- Como la temperatura media anual calculada es 15.42°C, y de humedad relativa grado 3, identificamos los límites de confort con la tabla N°11, en la cual se indica entre 21 -27°C, verificando con la figura N°33 diagrama de límites teóricos de Givoni, se verifica que coinciden con los calculado, en tal sentido se deduce que las recomendaciones de Mahoney son aceptables.

Tabla N°20. Indicadores de Mahoney para el diseño.

INDICADORES DE MAHONEY

Ventilación esencial	H1													0
Ventilación deseable	H2													0
Protección contra lluvia	H3													0
Inercia Térmica	A1	1			1		1	1	1	1	1	1	1	8
Espacios exteriores nocturnos	A2													0
Protección contra el frío	A3		1	1			1	1	1				1	6

Fuente: Hoja de cálculo de Víctor Fuentes Freixanet – Universidad Autónoma Metropolitana

Datos: Elaboración propia.

- Según la metodología de Mahoney nos resalta dos aspectos fundamentales en los cuales trabajar el diseño para encontrar el confort térmico, el primero es la inercia térmica generalmente la que comprenden los envolventes muros para mejor captación de calor, en este caso el material proyectado es el adobe que tiene muy buena inercia térmica, y los muros Trombe que ayudaran al efecto térmico dentro del diseño.
- El segundo aspecto es protección contra el frío, este aspecto debe relacionarse con la distribución de los vanos, y la protección de estos. Así también el diseño no debe comprender patios o espacios abiertos porque permitirán la pérdida de calor dentro.

Tabla N°21. Recomendaciones de Mahoney para aplicar en el diseño.

Distribución	1	Orientación Norte-Sur
	2	
Espaciamiento	3	
	4	
	5	Configuración compacta
Ventilación	6	
	7	Habitaciones en doble galería - Ventilación Temporal -
	8	
Tamaño de las Aberturas	9	
	10	Medianas 30 - 50 %
	11	
	12	
	13	
Muros y Pisos	18	
	19	Masivos -Arriba de 8 h de retardo térmico
Techumbre	20	
	21	
	22	Masivos -Arriba de 8 h de retardo térmico

Estas recomendaciones son las que se requiere para plantear la distribución y sistemas solar pasivo de la vivienda.

5.2.3. Selección de envoltentes exteriores:

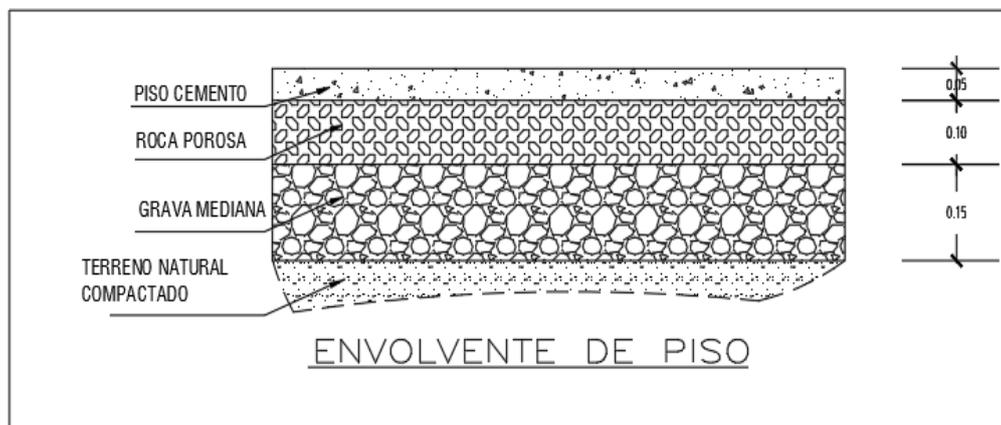
Se realizó la siguiente propuesta de las envoltentes en contacto con el exterior para que puedan cumplir las condiciones de inercia y transmisión térmica requeridos para el confort.

Envolvente de piso:

Según las consideraciones de Mahoney debe ser necesario la implementación de áreas de captación y acumulación de calor, para poder ser liberados mientras vaya bajando la temperatura.

Por tal motivo se plantea incorporar una base de 15 cm de grava mediana sobre el terreno natural, ya que tiene una gran capacidad de almacenamiento de calor, sobre esta se proyecta colocar una capa de 10 cm de roca porosa mediana, que cuyas características de almacenamiento de calor son similares al de la caliza, creando una especie de cámara de calor por transferencia entre la grava, finalmente el acabado estará a base de una capa de falso piso a base de concreto ciclópeo de 5 cm. En las horas de mayor calor la losa de piedra se calentará homogenizando la temperatura a nivel de piso en todo el terreno, cuando las horas de sol y calor disminuyan, con el enfriamiento de la losa se ira liberando el calor, especialmente en las áreas que comprendan cruce de muros o esquinas, ya que habrá mayor concentración de masa y el área de reparto estará limitada.

Figura N°40. Envoltente propuesta para pisos.



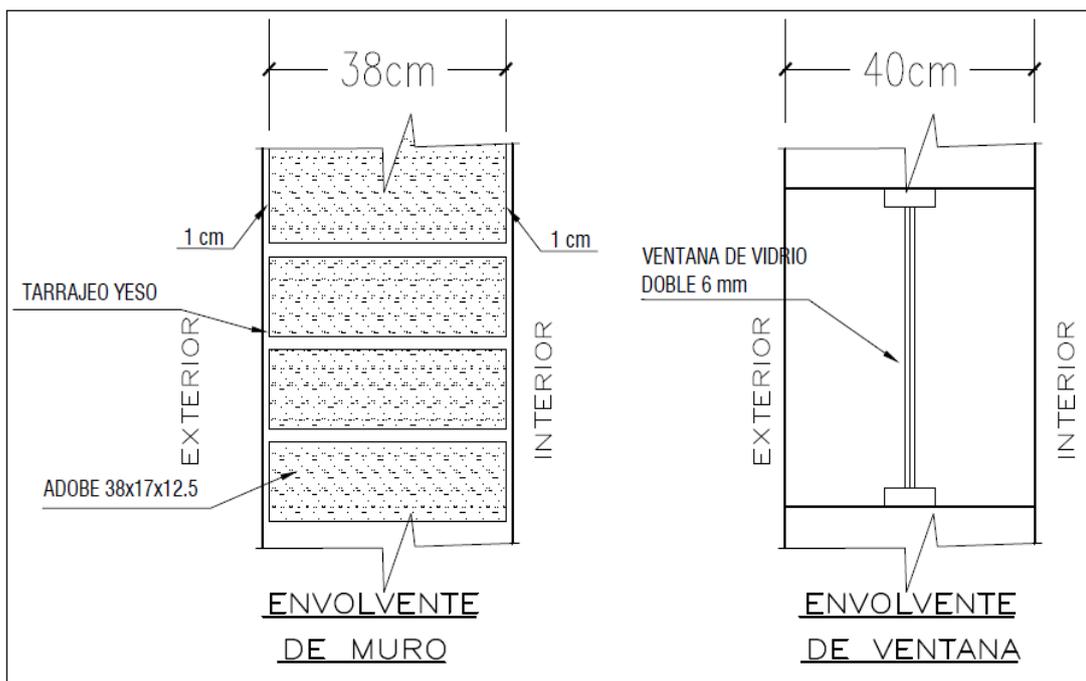
Fuente: Elaboración propia

Envolvente de muros y vanos:

al igual que en los pisos, la necesidad de captación de calor y disminuir la pérdida de este, es pieza clave para que el diseño funcione, el adobe por sus dimensiones (38x17x10) y por los materiales que lo componen (tierra y paja) logran tener una buena conducción de calor, especialmente según al estudio climatológico, las temperaturas no son extremadamente bajas, lo que será suficiente con la utilización de muros de 0.40 metros de ancho, comprendido por el adobe (0.38 m + 0.02 m de acabados).

En el caso de las ventanas, serán de vidrio doble y de marcos de madera de 1” mínimo, según el ancho del vano convenga, serán deslizables para permitir la circulación del aire en épocas de altas temperaturas y para la refrigeración del diseño.

Figura N°41. Envolvente propuesta para muros y vanos.



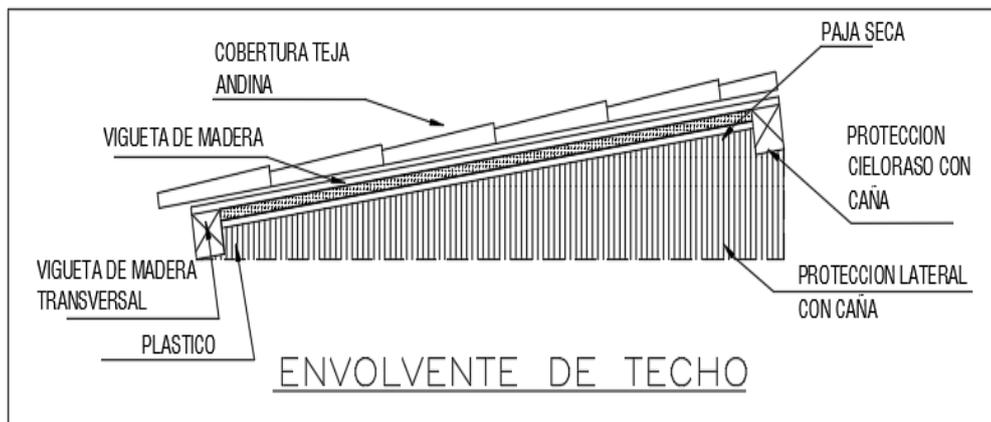
Fuente: Elaboración propia

Envolvente de techos:

Para los techos es necesario aumentar la inercia térmica del elemento como tal, al ser una edificación de dos niveles, el calor está expuesto a la fuerza de enfriamiento del viento, para transferir el calor se propone la incorporación de una estructura para techo basada en capas de distintos materiales.

La estructura principal estará armada por viguetas de madera de 5” que sostengan la carga del techo y la deriven a los muros y mochetas de la edificación, se propone que este forrada por una capa de caña por encima, y con una cama de paja seca de 2 cm, para aumentar la concentración de calor, además una capa de plástico para protección del elemento, y una capa más de caña en la parte inferior.

Figura N°42. Envoltente propuesta para techos



Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Cálculo de la transmitancia térmica por envoltentes:

Transmitancia térmica en pisos:

Tabla N°22. Cálculo de la transmitancia térmica en envoltente de pisos:

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W m/k)	Resistencia térmica (m ² k/W)
Piso de cemento	0.05	1.51	0.03
Roca porosa	0.10	0.55	0.18
Cama de grava	0.15	0.85	0.18
		Resistencia total =	0.39
Transmitancia térmica total (W/m² k) =			2.55

Fuente: Elaboración propia

Transmitancia térmica en techos:

Tabla N°23. Cálculo de la transmitancia térmica en envolvente de techos

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W m/k)	Resistencia térmica (m ² k/W)
Resistencia superficial exterior			0.04
teja andina	0.03	1.000	0.03
Vigueta longitudinal de madera	0.10	0.130	0.77
Cama de paja 2cm	0.02	0.090	0.22
Resistencia superficial interior			0.13
Resistencia total =			1.19
Transmitancia térmica total (W/m² k) =			0.84

Fuente: Elaboración propia

Transmitancia térmica en muros:

Tabla N°24. Cálculo de la transmitancia térmica en envolvente de muro sólido:

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W m/k)	Resistencia térmica (m ² k/W)
Resistencia superficial exterior			0.04
Adobe	0.40	0.900	0.44
Tarrajeo de yeso	0.02	0.400	0.05
Resistencia superficial interior			0.13
Resistencia total =			0.66
Transmitancia térmica total (W/m² k) =			1.51

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°25. Cálculo de la transmitancia térmica en envolvente para puertas:

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W m/k)	Resistencia térmica (m ² k/W)
Resistencia superficial exterior			0.04
puerta madera	0.08	0.120	0.67
Resistencia superficial interior			0.13
		Resistencia total =	0.84
Transmitancia térmica total (W/m² k) =			1.20

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°26. Cálculo de la transmitancia térmica en envolvente para ventanas y mamparas:

Material	Transmitancia térmica (W/m ² k)
Vidrio doble incoloro 6 mm	1.87

Fuente: Elaboración propia

Total de transmitancia térmica en muro con vano = 1.52

Tabla N°27. Cuadro comparativo de transmitancia máxima permisible y la calculada.

Elemento	Transmitancia térmica máxima permisible (W/m ² k)	Transmitancia térmica calculada (W/m ² k)	Situación
Pisos	2.63	2.55	Cumple
Techos	2.2	0.84	Cumple
Muros	2.36	1.52	Cumple

Fuente: Elaboración propia

- De los cálculos realizados, se resuelve que la propuesta de envolventes planteada cumple con el margen máximo de transmitancia térmica según el Reglamento Nacional de Edificaciones, por lo que el diseño es aceptado

5.2.5. Dimensionamiento de muro Trombe:

Muro Trombe

Altura de muro Trombe propuesta =	1.00 m.
Área de la habitación =	11.00 m ² .

* Según tabla N° 14 se obtiene:

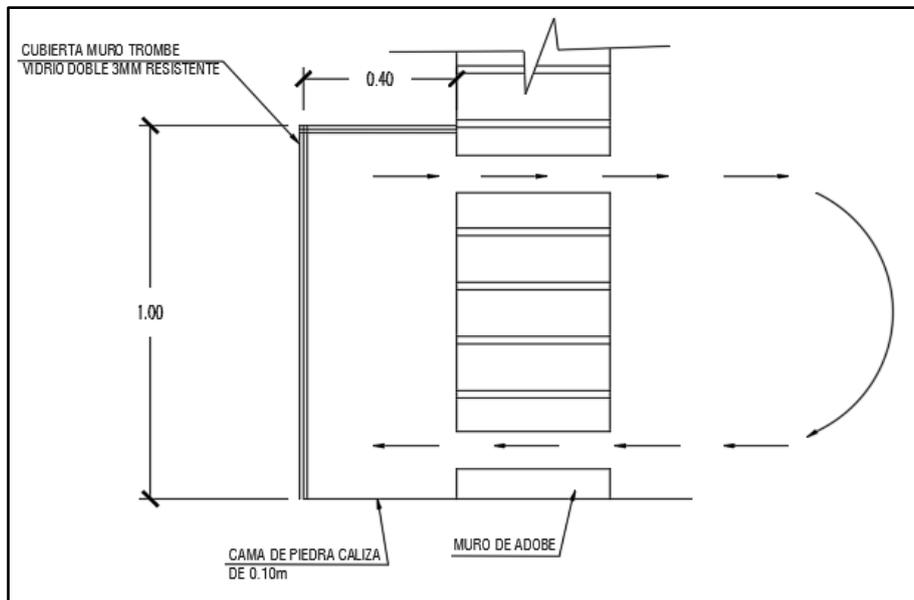
N° de orificios =	8.00 und.
-------------------	-----------

* 4 Superiores y 4 Inferiores

* Según tabla N° 15 se obtiene:

Inclinación =	1:1
Angulo =	90.00 °
Ancho de cámara =	0.40 m
Forma =	Rectangular
Orientación	Norte

Figura N°43. Sección transversal de muro Trombe diseñado



Fuente: Elaboración propia

Transmitancia térmica en muro Trombe:

Tabla N°28. Cálculo de transmitancia térmica de muro Trombe.

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W m/k)	Resistencia térmica (m ² k/W)
Resistencia superficial exterior			0.04
Vidrio	0.006	0.950	0.01
Cámara de aire			0.16
Muro de adobe	0.400	0.090	4.44
Resistencia superficial interior			0.13
Resistencia total =			4.78
Transmitancia térmica total (W/m² k) =			0.21

Fuente: *Elaboración propia*

5.2.6. Verificación de condensaciones superficiales:

Para que el aislamiento de las envolventes y la captación de calor no sufra degradación por causa de las condensaciones del ambiente, se debe cumplir la siguiente expresión para cada uno de ellos.

$$T_{si} > T_r$$

Donde tenemos: T_r calculado = 15 °C

5.2.6.1. Condensación para muros:

$$\text{Muros : } T_{si} = T_i - U_{muro} \times R_{si} \times (T_i - T_e).$$

$$\text{Donde tenemos: } T_i = 18 \text{ °C.}$$

$$U_{muro} = 1.52 \text{ W/m}^2 \text{ k}$$

$$R_{si} = 0.11 \text{ m}^2 \text{kw}$$

$$T_e = 26 \text{ °C}$$

$$\text{Calculando: } T_{si} = 19.34 \text{ °C}$$

Por lo que: $19 > 15$, Cumple el diseño de muros es aceptable.

5.2.6.2. Condensación para techos:

$$Techos: T_{si} = T_i - U_{techo} \times R_{si} \times (T_i - T_e).$$

Donde tenemos: $T_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}.$

$$U_{techo} = 0.64 \text{ W/m}^2 \text{ k}$$

$$R_{si} = 0.17 \text{ m}^2\text{kw}$$

$$T_e = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

Calculando: $T_{si} = 18.87^\circ\text{C}$

Por lo que: $18 > 15$, Cumple el diseño de techos es aceptable.

5.2.6.3. Condensación para pisos:

$$Pisos : T_{si} = T_i - U_{piso} \times R_{si} \times (T_i - T_e).$$

Donde tenemos: $T_i = 18 \text{ }^\circ\text{C}.$

$$U_{piso} = 2.55 \text{ W/m}^2 \text{ k}$$

$$R_{si} = 0.17 \text{ m}^2\text{kw}$$

$$T_e = 26 \text{ }^\circ\text{C}$$

Calculando: $T_{si} = 21.47^\circ\text{C}$

Por lo que: $21 > 15$, Cumple el diseño de pisos es aceptable.

5.3. Diseño de la distribución ecoeficiente.

5.3.1. Dimensionamiento por estabilidad:

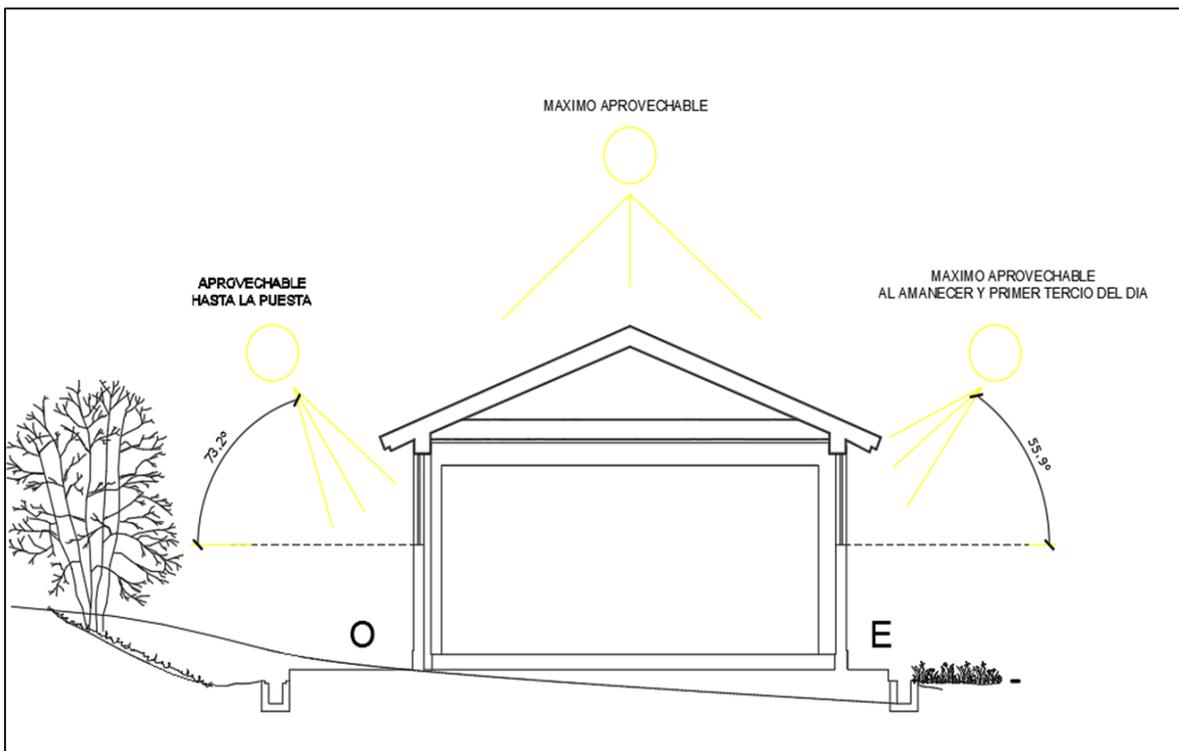
- Espesor mínimo de muro : $e = 0.40\text{m}.$
- Distancia de los vanos a las esquinas : $1.20 \text{ m}.$ Cumple
- Longitud de muros no arriostrado : $4.00 \text{ m}.$
- Esbeltez máxima para muros : $2.30 < 3.00 \text{ m}.$ Cumple.
- Profundidad mínima de cimiento : $0.60\text{m}.$ Cumple
- Mochetas : 0.40 m

5.3.2. Orientación solar óptima:

La orientación preferible se debe relacionar con la mayor captación de radiación solar; entonces tomando en cuenta el recorrido del sol de la figura N° 25, es óptimo brindar una orientación en el eje norte – sur, ya que por las fuentes de energía serian aprovechadas tanto por el este y oeste, así como también por el norte donde el sol tiene gran presencia en la mayor parte del año.

En los meses de menor presencia solar como Enero, Noviembre y Diciembre se puede apreciar que se tendrá captación solar, pero con ángulos elevados que podría ir entre los 65° a más en relación con el terreno proyectado.

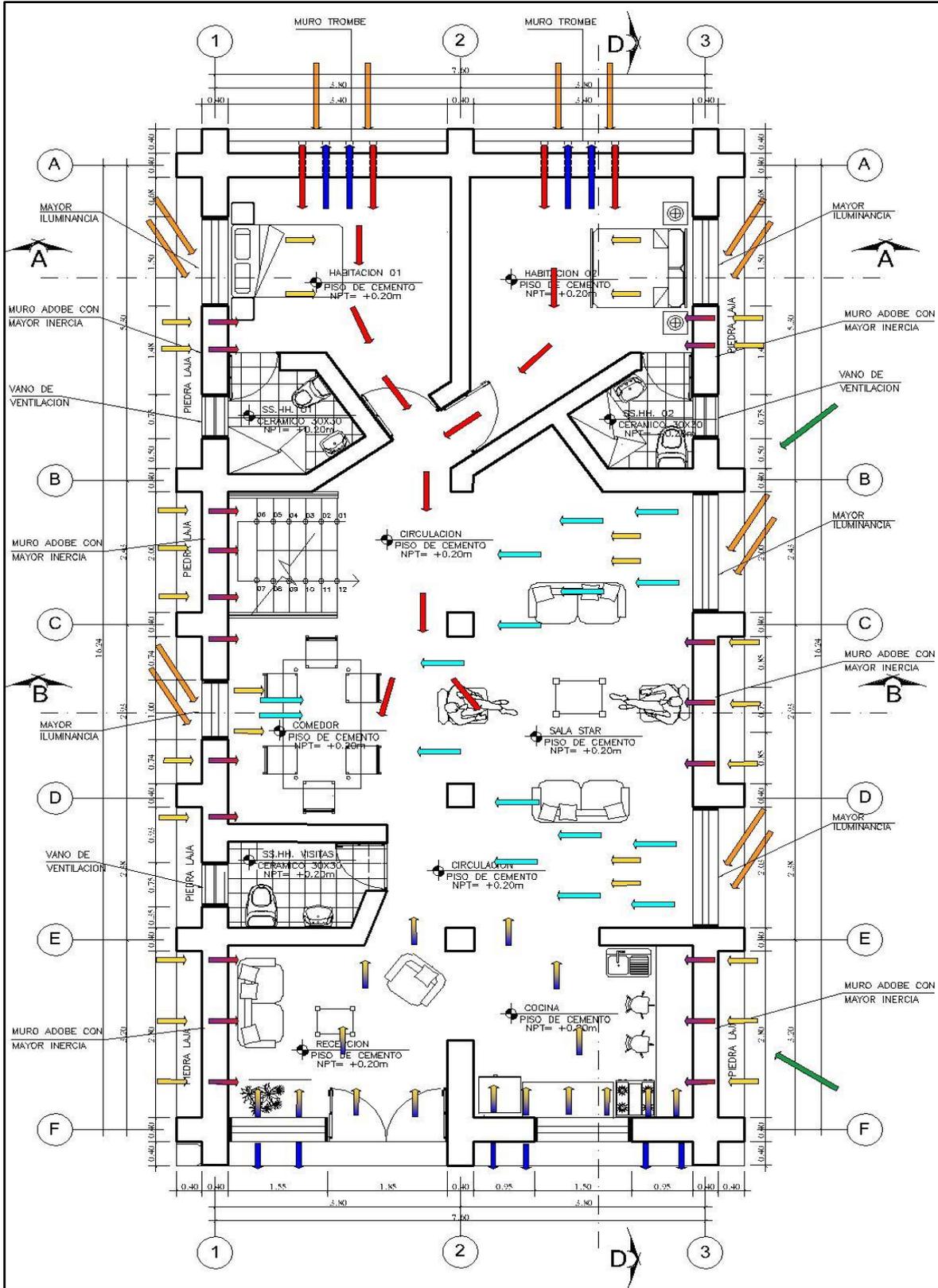
Figura N°44. Gráfico de movimiento solar con relación a la vivienda



Fuente: *Elaboración propia*

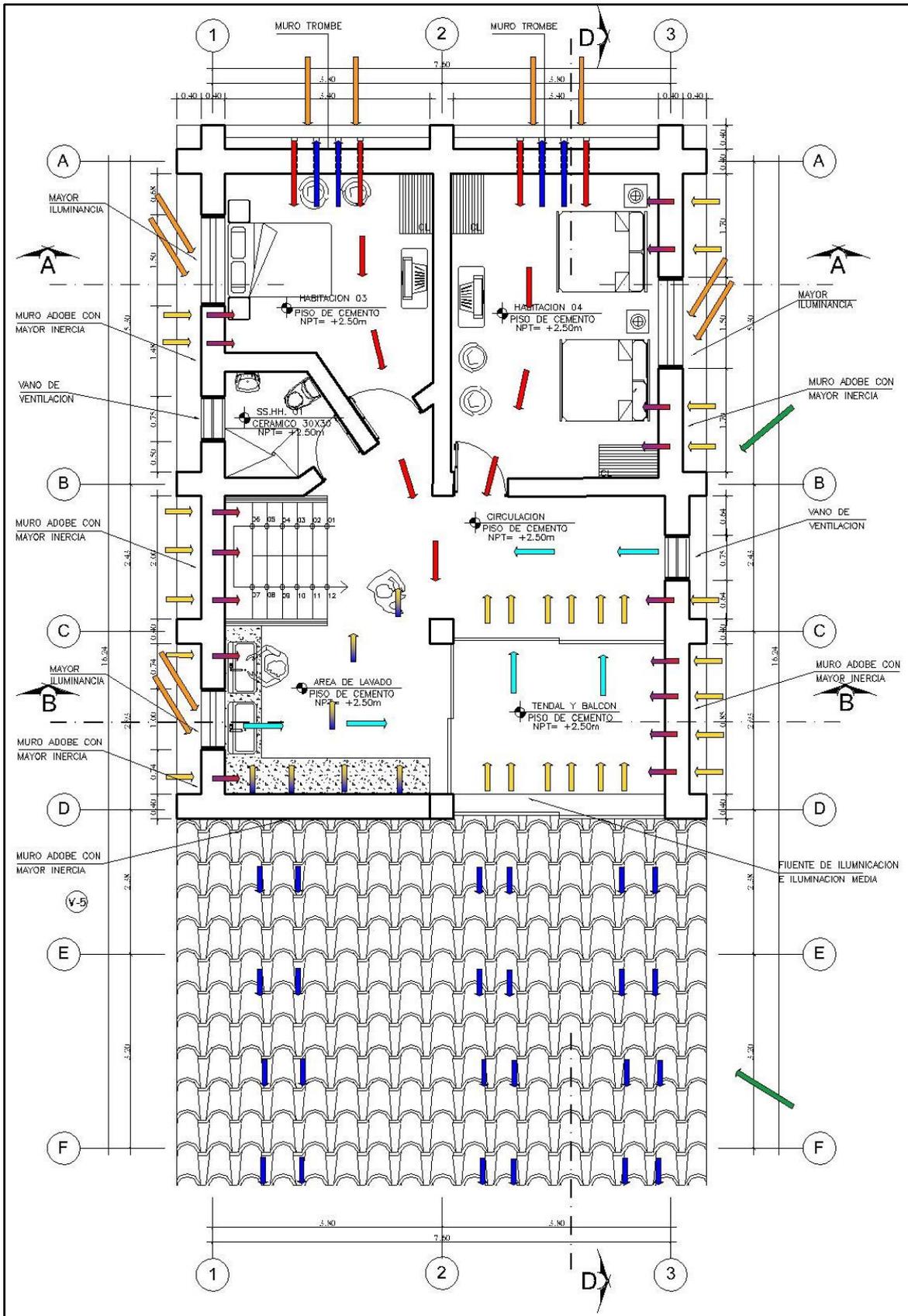
5.3.3. Arquitectura sostenible y funcionalidad propuesta

Figura N°45. Propuesta de arquitectura sostenible primer nivel.



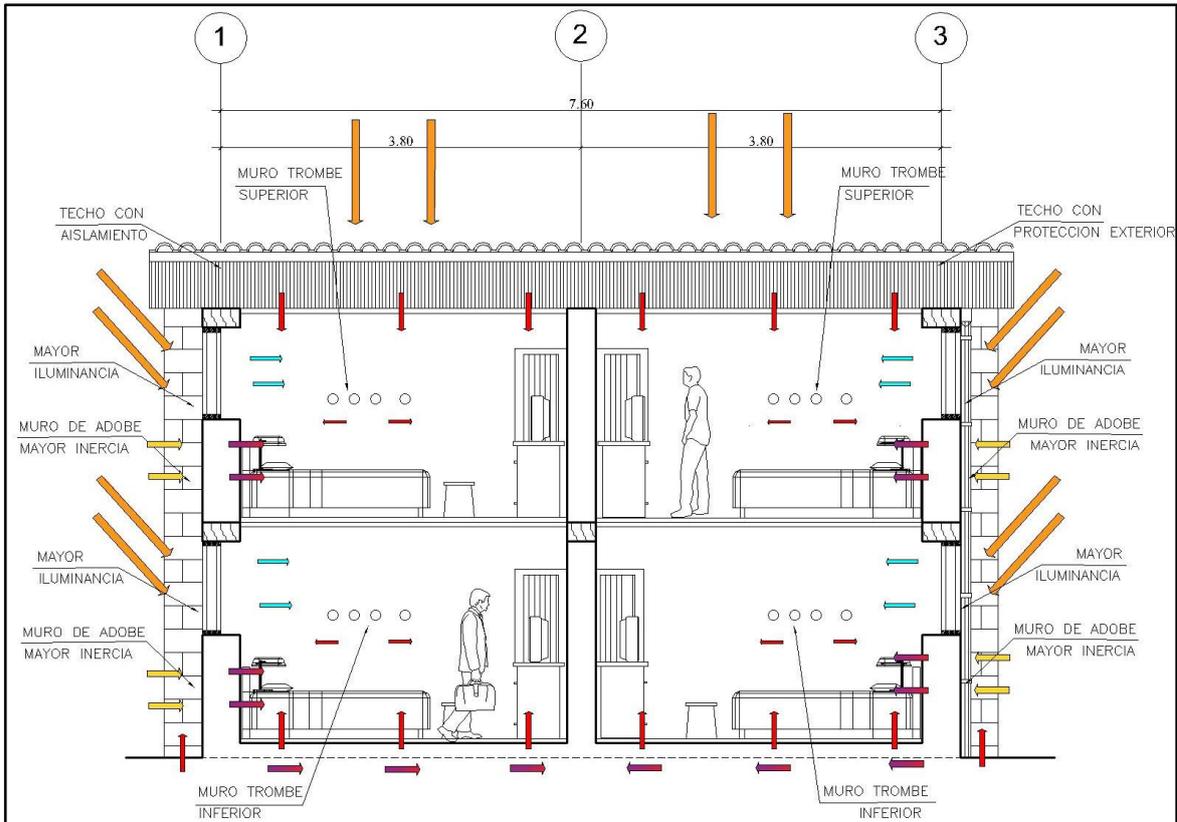
Fuente: Elaboración propia

Figura N°46. Propuesta de arquitectura sostenible segundo nivel.



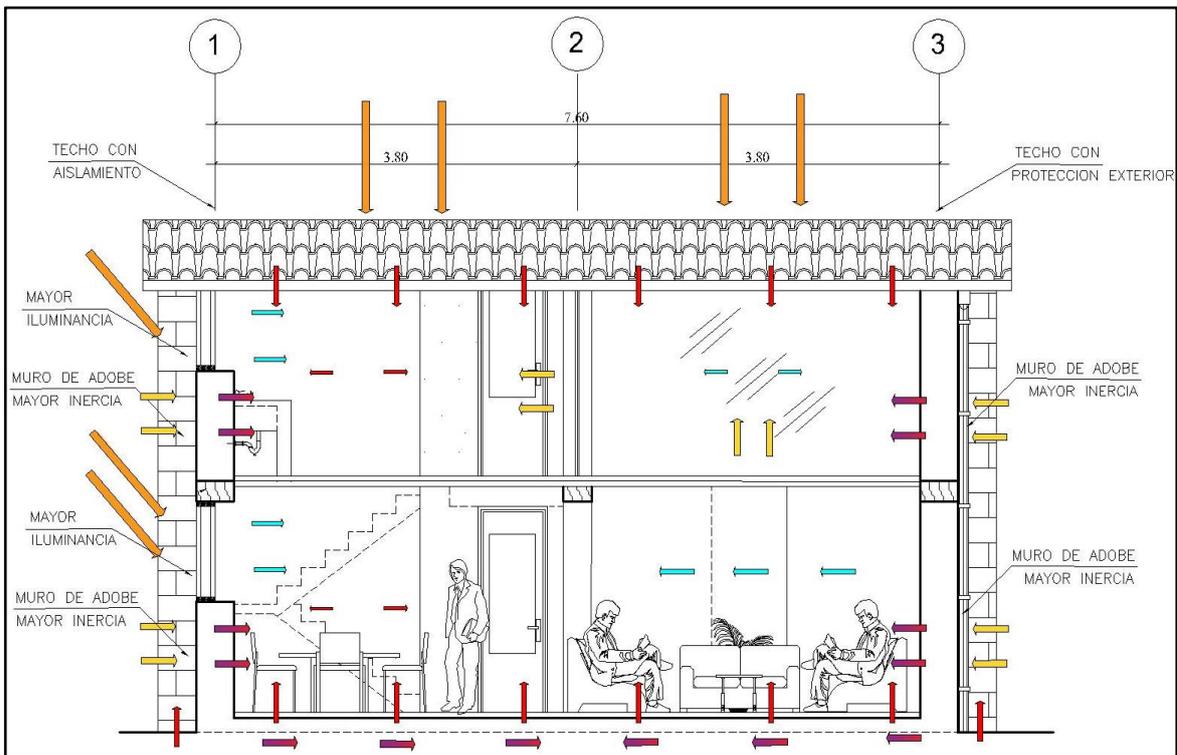
Fuente: Elaboración propia

Figura N°47. Propuesta de arquitectura sostenible corte A-A.



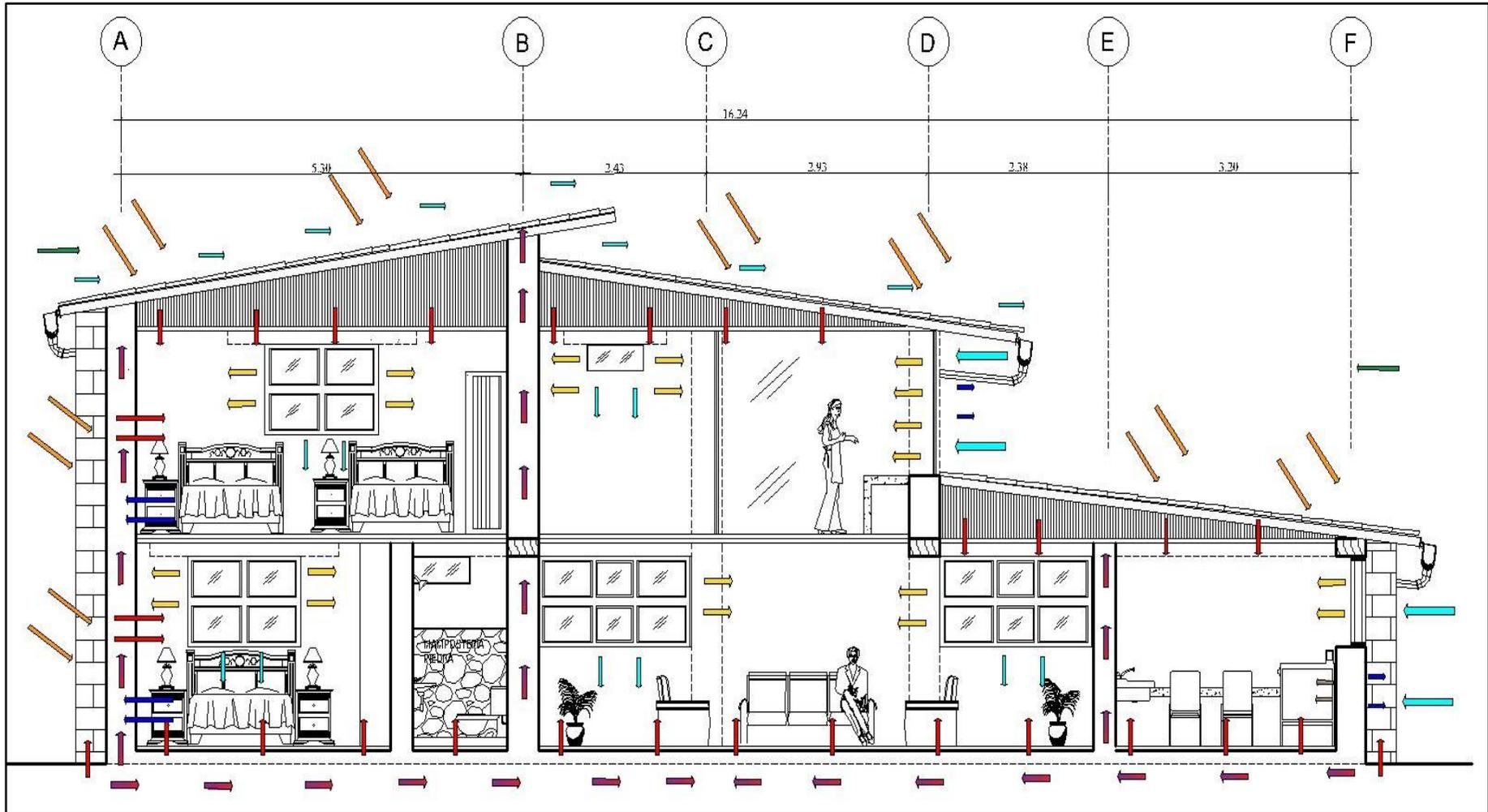
Fuente: Elaboración propia

Figura N°48. Propuesta de arquitectura sostenible corte B-B.



Fuente: Elaboración propia

Figura N°49. Propuesta de arquitectura sostenible corte D-D



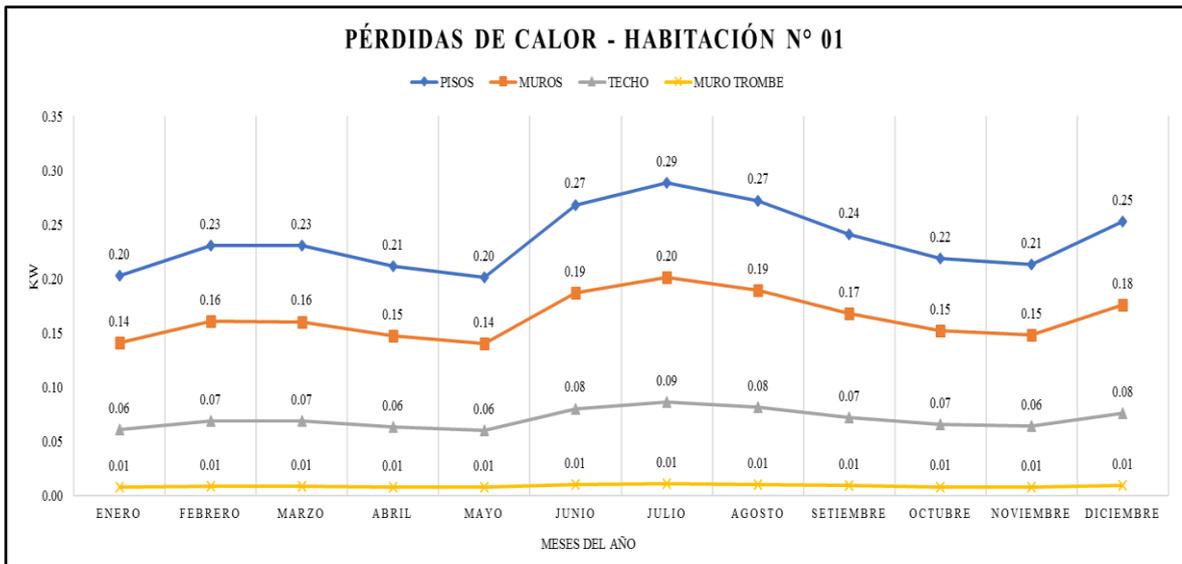
Fuente: Elaboración propia.

5.4. Determinación el desempeño térmico de la vivienda rural propuesta.

5.4.1. Pérdidas de calor por envoltentes.

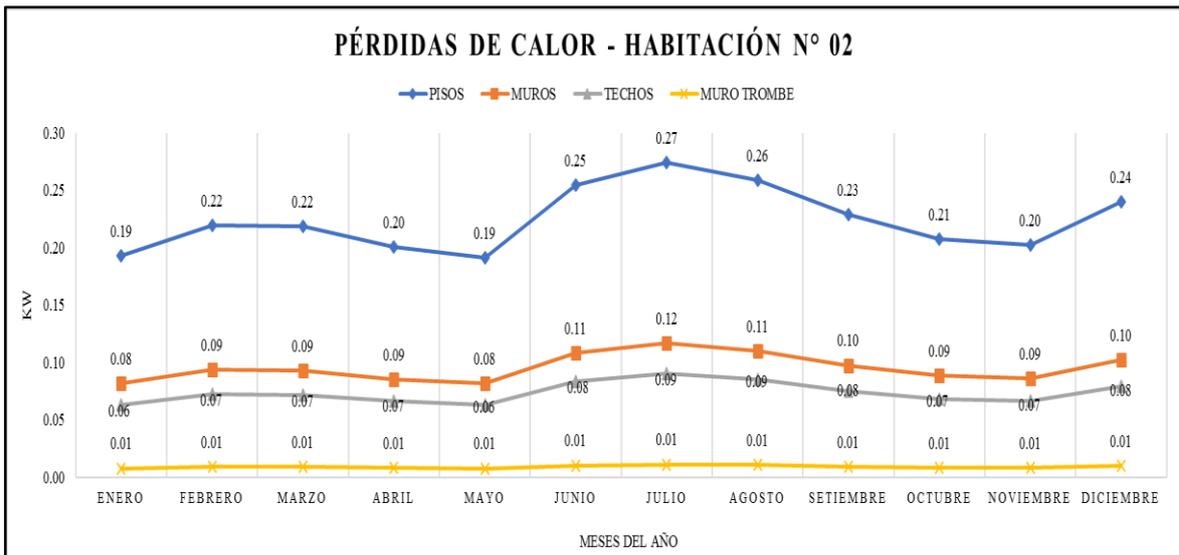
5.4.1.1. Ambientes primer nivel

Figura N°50. Pérdida de calor de envoltente en habitación N° 01.



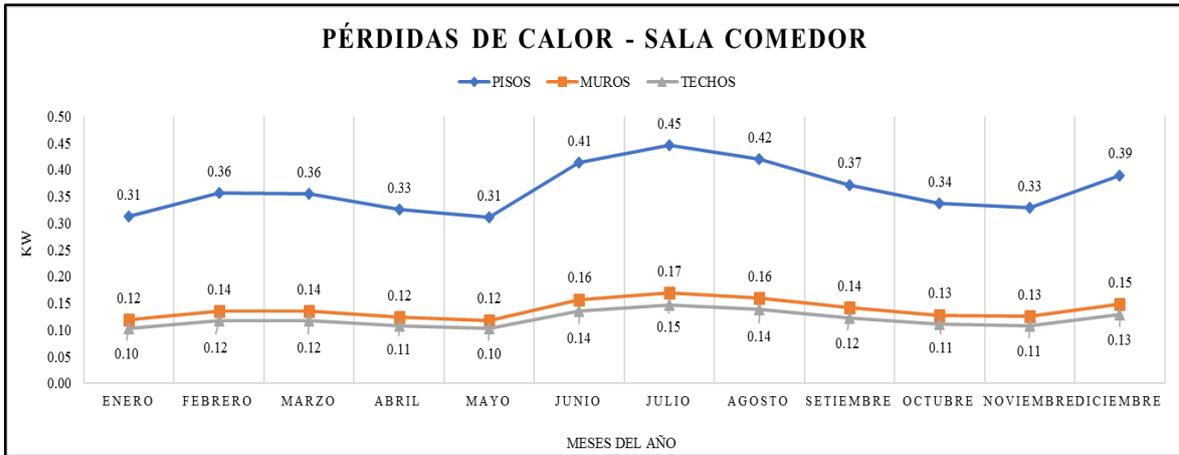
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°51. Pérdida de calor de envoltente en habitación N° 02



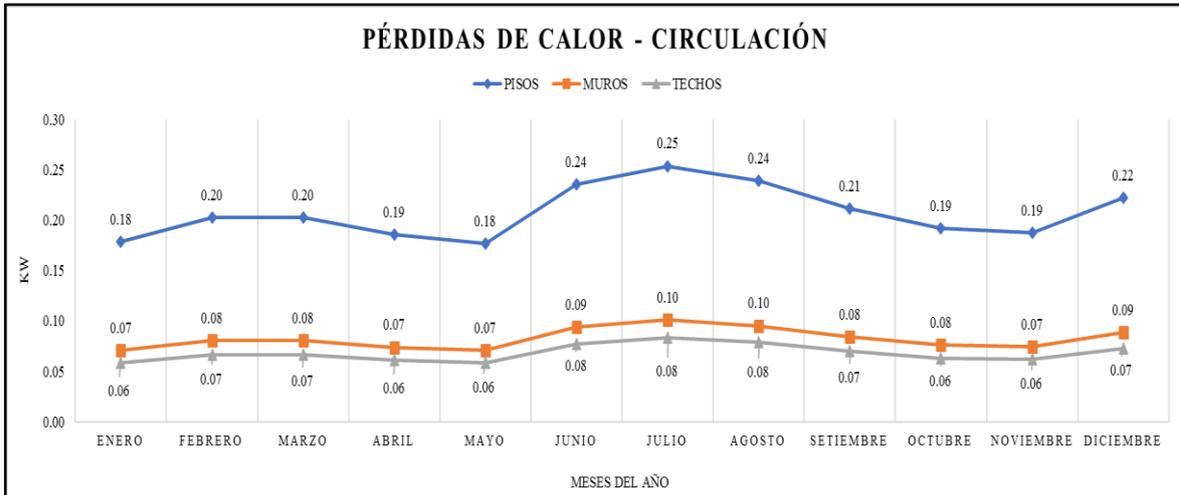
Fuente: Elaboración propia

Figura N°52. Pérdida de calor de envoltente en sala – comedor.



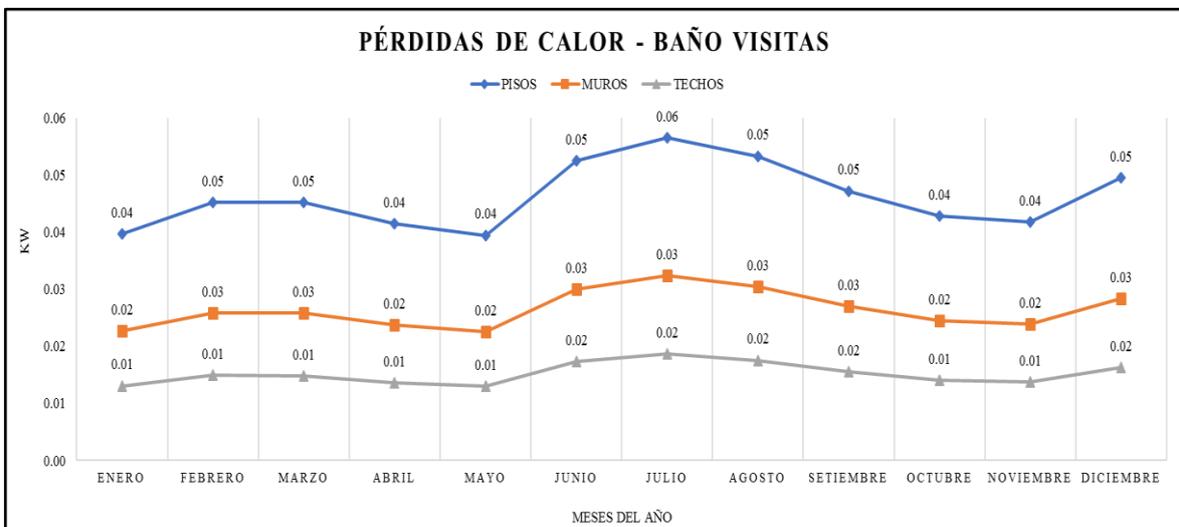
Fuente: Elaboración propia

Figura N°53. Pérdida de calor de envoltente en circulación.



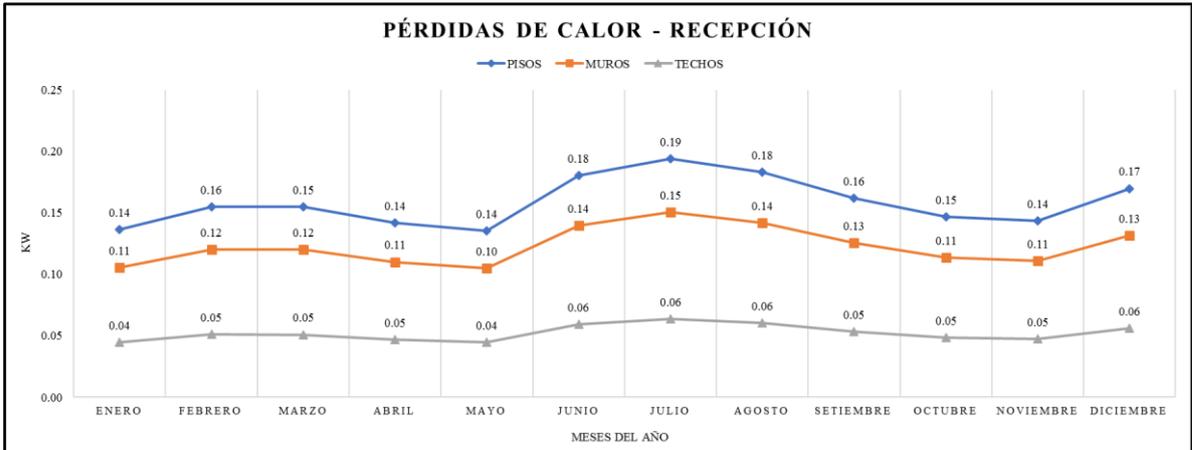
Fuente: Elaboración propia

Figura N°54. Pérdida de calor de envoltente en baño de visitas.



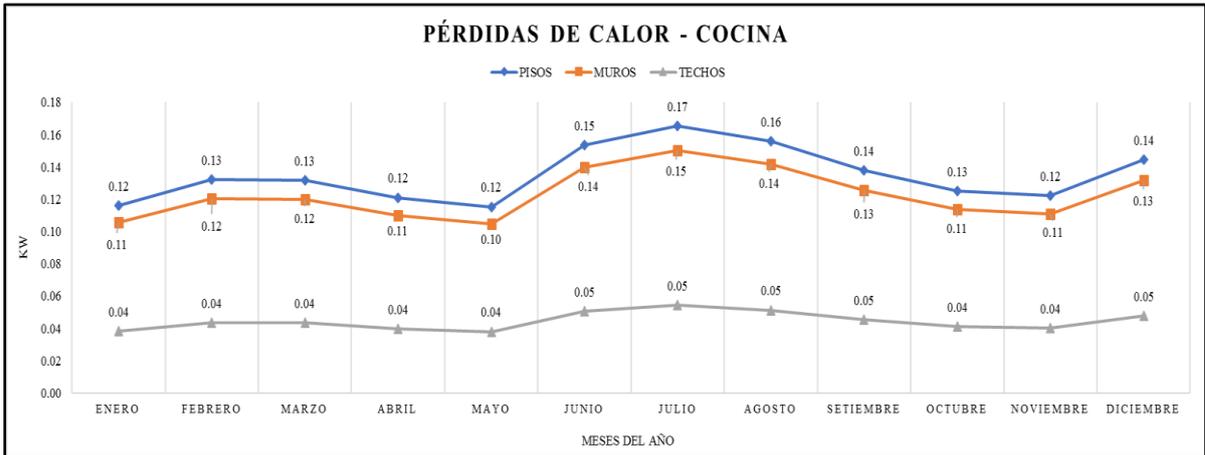
Fuente: Elaboración propia

Figura N°55. Pérdida de calor de envoltente en recepción.



Fuente: Elaboración propia

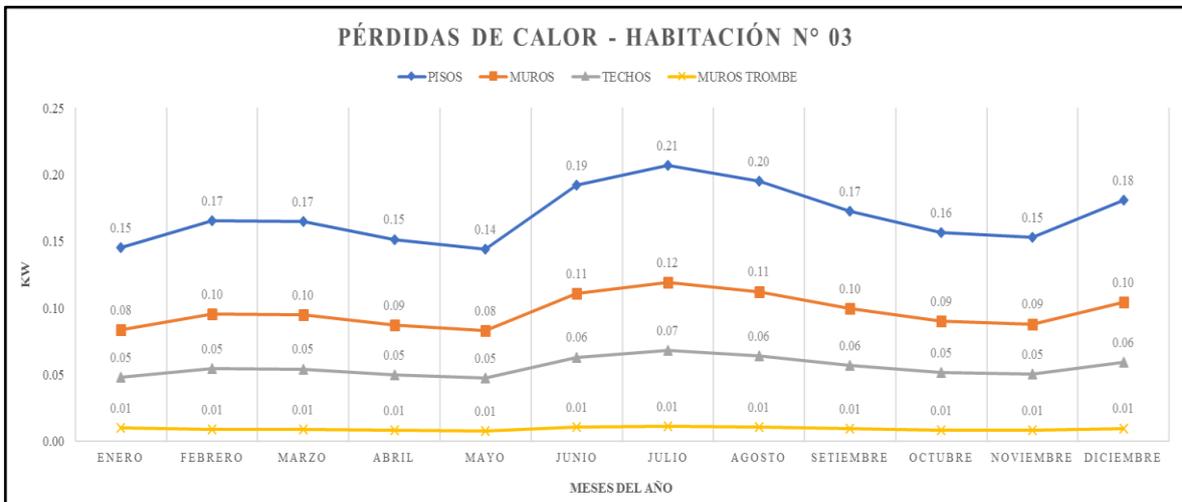
Figura N°56. Pérdida de calor de envoltente en cocina.



Fuente: Elaboración propia

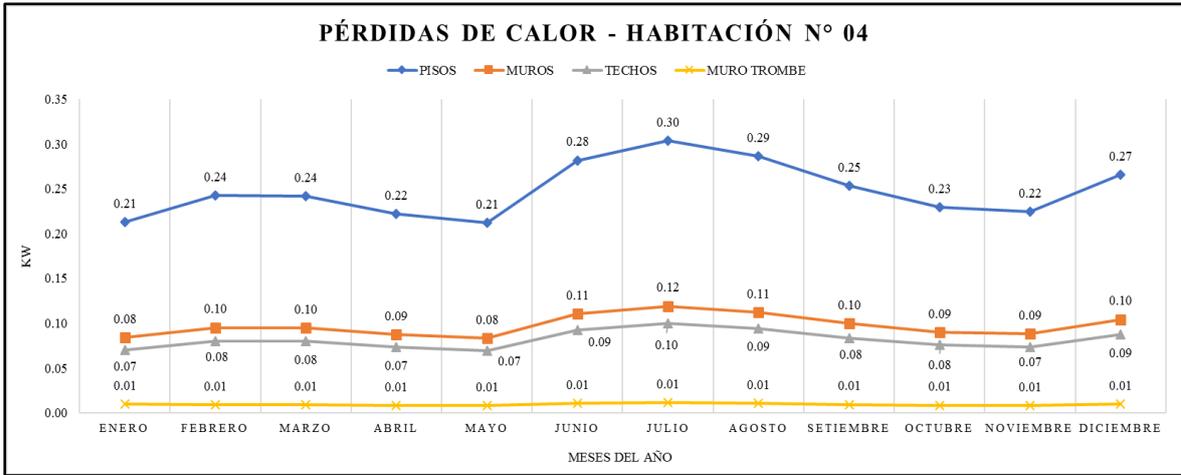
5.4.1.2. Ambientes segundo nivel

Figura N°57. Pérdida de calor de envoltente en habitación N° 03.



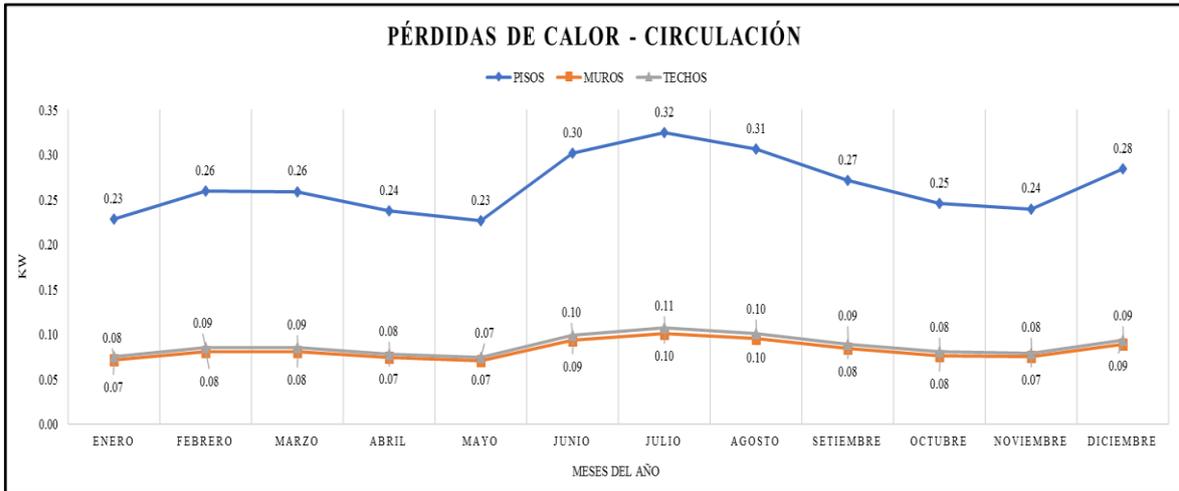
Fuente: Elaboración propia

Figura N°58. Pérdida de calor de envoltente en habitación N° 04.



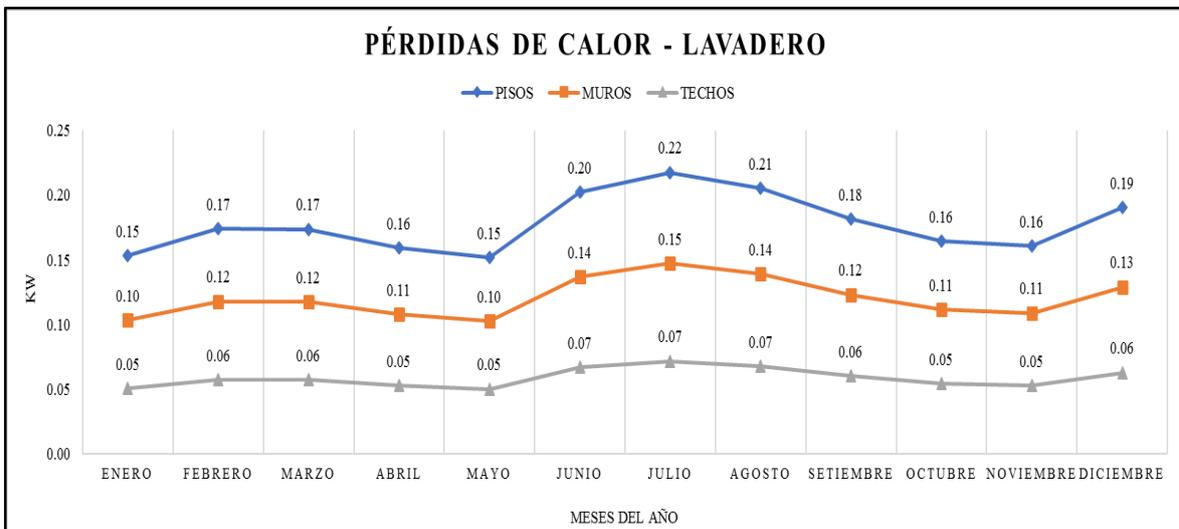
Fuente: Elaboración propia

Figura N°59. Pérdida de calor de envoltente en circulación



Fuente: Elaboración propia

Figura N°60. Pérdida de calor de envoltente en lavadero.



Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Temperatura interior del diseño propuesto.

$$T_i = T_{amb.} + \text{Ganancia}$$

T_i = Temperatura interior.

T_{amb} = Temperatura del ambiente interior.

Ganancia = Ganancia de calor por envolventes.

Tabla N°29. Determinación de la temperatura del ambiente interior.

MES	TEMP. MED. EXT. (C°)	TEMP. AMB. (°C)
ENERO	16.20	19.45
FEBRERO	15.54	18.65
MARZO	15.55	18.67
ABRIL	16.00	19.20
MAYO	16.24	19.49
JUNIO	14.66	17.60
JULIO	14.18	17.01
AGOSTO	14.57	17.48
SEPTIEMBRE	15.30	18.36
OCTUBRE	15.84	19.01
NOVIEMBRE	15.96	19.15
DICIEMBRE	15.03	18.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°30. Aporte de calor por envolventes

ENVOLVENTE	GANACIA
Muro	3.30
Piso	1.95
Techo	5.50

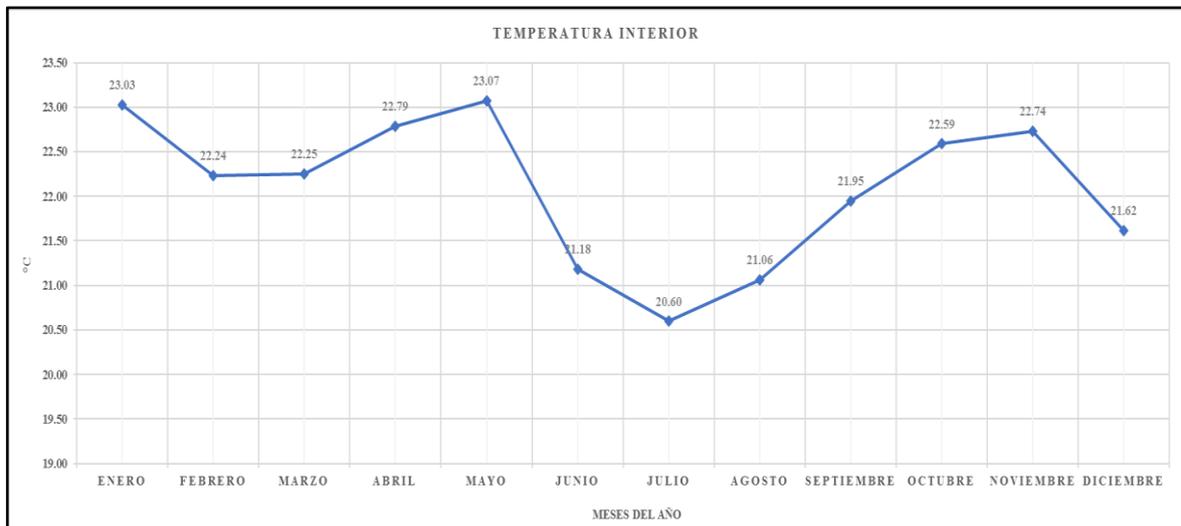
Fuente: Elaboración propia

Tabla N°31. Temperatura del ambiente interior.

MES	TEMP. INTERIOR (°C)
ENERO	23.03
FEBRERO	22.24
MARZO	22.25
ABRIL	22.79
MAYO	23.07
JUNIO	21.18
JULIO	20.60
AGOSTO	21.06
SEPTIEMBRE	21.95
OCTUBRE	22.59
NOVIEMBRE	22.74
DICIEMBRE	21.62

Fuente: Elaboración propia

Figura N°61. Variación de la temperatura del ambiente interior por mes.



Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Proyección del diseño propuesto en 3D.

Figura N°62. Vista frontal del diseño.



Fuente: Elaboración propia

Figura N°63. Vista de la fachada del diseño.



Fuente: Elaboración propia

Figura N°64. Vista lateral del diseño.



Fuente: Elaboración propia

Figura N°65. Vista interior sala – comedor.



Fuente: Elaboración propia

VI. DISCUSIÓN

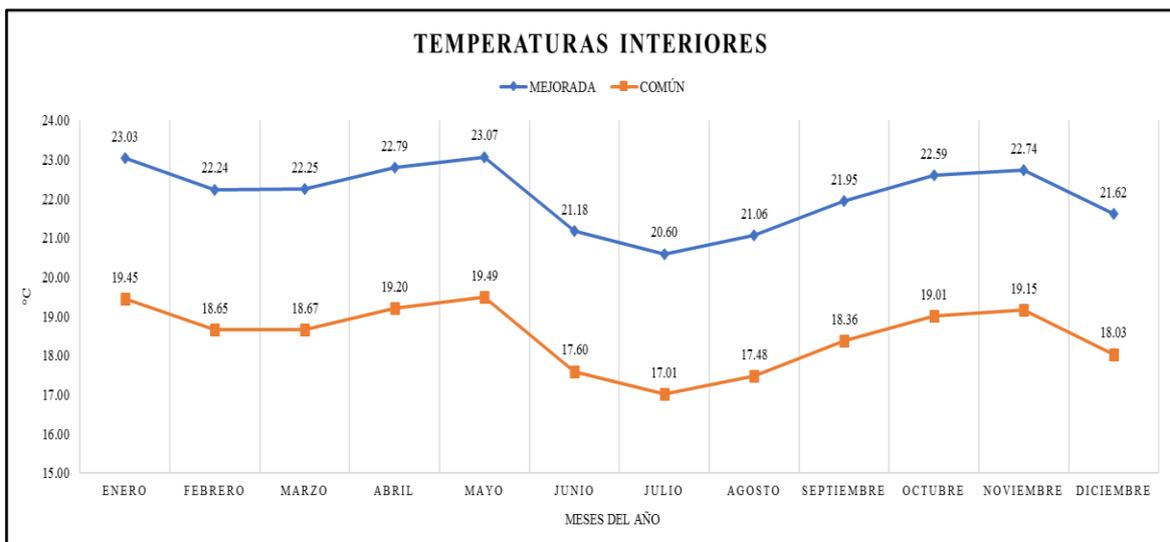
- El clima en la provincia de Chachapoyas se encuentra fuera de la zona de confort, como se puede apreciar en la figura N° 35, en donde las temperaturas medias varían entre los 14°C y 16°C, en la mayor parte del año, siendo los meses más fríos los de Junio, Julio y Agosto, correspondiente a la temporada de invierno por lo que la presencia de vientos fuertes aumenta, generalmente de Norte - Sur, Noroeste – Sureste. Las temperaturas a lo largo del año son casi constantes y no existe presencia de descensos significantes o variaciones extremas. La radiación promedio según las cartas del SENAMHI y lo establecido en el reglamento nacional de edificaciones es de 5 kwh/m². La zona de estudio se caracteriza por tener gran presencia de humedad, por la altitud en la que se encuentra (2,334 m.s.n.m.) y las condiciones geográficas (ceja de selva), el promedio de humedad relativa más alta es de 65%, lo que significa un índice de alta presencia de agua en el aire que pueden enfriar las condiciones internas del diseño. Para brindar confort térmico dentro de las viviendas, la metodología de Givoni, indica que se debe alcanzar una temperatura de entre 21°C – 23.39°C de acuerdo con la Tabla N°17. Además, según el análisis de Mahoney recomienda incluir el control de bajas temperaturas mediante elementos de gran inercia térmica y almacenamiento, como muros de gran espesor y cámaras de captación.
- Para mejorar las condiciones de confort se planteó el diseño de las envolventes con el exterior, cuya característica específica es tener mayor resistencia ante la pérdida de calor y pueda aumentar la temperatura ambiente interior típica existente. Según el reglamento nacional de edificaciones, las envolventes a tomar en cuenta son, pisos, muros, techos, las cuales estarán sujetas al aislamiento térmico con materiales convencionales a la zona y sus características térmicas indicadas en el reglamento. Los pisos están compuestos según lo indicado en la Figura N° 40, para aumentar la capacidad de captación de calor en el suelo y distribuirla en zonas específicas de la edificación, los muros con características de la Figura N° 41, ya que las temperaturas exteriores no son extremas, no son necesarios la utilización de capas de aislamiento térmico con materiales especiales, sino más bien, con el espesor de 0.40 m de adobe, brinda la resistencia suficiente para mejorar la temperatura

interior, por último, los techos están conformados según la Figura N° 42, es necesario añadirle una capa de paja seca para mejorar las condiciones almacenamiento de calor, y así mejorar su resistencia ante pérdida del mismo. Los vanos (ventanas), están ubicados de acuerdo con la orientación del viento, tanto en este y oeste, los cuales aportan a la ventilación regular cuando sea necesario. El tipo de ventana es de vidrio doble, de hoja movable para épocas de calor y anclaje para épocas de invierno. La ventilación racional durante el día ayuda evitar el exceso de refrigeración, permitir el ingreso de aire caliente y efecto chimenea según la geometría del mismo.

- Con las envolventes propuesta se obtuvo la transmitancia térmica del aislamiento, de acuerdo con la tabla N° 27, el diseño de envolventes exteriores está dentro de los parámetros establecidos por el reglamento nacional de edificaciones, es decir, el modelo tiene un comportamiento óptimo de calor. El control por humedad significa la duración de la calidad de las envolventes ante efectos del exterior, en el título 5.2.6. (Verificación de condensaciones superficiales), se describe la comprobación de que la temperatura interna superficial es mayor a la temperatura del rocío ($T_{si} > T_r$) para cada envolvente. La distribución arquitectónica ecológica está delimitada por ambientes típicos de viviendas en la zona, así como también, características sostenibles en especial los materiales que componen la edificación, geoméricamente la estructura es simétrica, con cámara de aire al centro para ventilación, así también se colocaron muros Trombe en las habitaciones porque se considera los ambientes más sensibles para el usuario, la distribución está orientada para que la combinación de masa de aire se produzca en el centro (efectos de aire caliente y frío). La estructura del techo es liviana con capas de aislamiento de paja de 2cm, que contribuya a la retención de calor en las horas de mayor radiación solar, están orientados hacia el norte – sur, para aprovechar la mayor iluminancia en los ambientes en todo el transcurso del día (este – oeste).
- El comportamiento térmico del diseño se basa en la correcta funcionalidad de los sistemas de aislamiento propuestos para el mismo, la temperatura teórica interior será igual a la temperatura ambiente interior más la ganancia de temperatura por parte de las envolventes, como se vio al inicio, para llegar al confort las temperaturas interiores deben estar dentro de los márgenes de la teoría de Givoni

(Figura N° 33). Realizando el análisis se verifico que las temperaturas interiores obtenidas para el diseño propuesto son los de la tabla N°31, en donde se logró conseguir que la temperatura interior del diseño propuesto se encuentre dentro de las áreas de confort según la metodología.

Figura N°66. Comparativa de temperaturas medias interiores.



Fuente: Elaboración propia

- La ventaja de implementar edificaciones como la presente investigación es brindar comodidad y seguridad al usuario de acorde a las condiciones ambientales y socioeconómicas de la zona en las que se desarrolla, además de contribuir con la implementación de mecanismos sostenibles a los procesos de construcción y urbanización en la ciudad de Chachapoyas y todos sus distritos, que a la larga traerán beneficios sociales, ambientales y económicos a las familias. Los diseños térmicos tienden a tener variación en sus componentes de acuerdo con la ubicación geográfica de la zona en la que se desarrollan, en nuestra realidad local, se plantea la aplicación para futuros investigadores de las viviendas térmicas en zonas de mayor variación de bajas temperaturas como por ejemplo distrito de Huancas, La Jalca, Olleros, entre otros.

VII. CONCLUSIONES

- La edificación con adobes es aceptable en la zona hasta los dos niveles, teniendo en cuenta una distribución simétrica, de luces no mayores a 3 metros y el tipo de suelo CL: arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, siendo necesario agregar paja seca de forma regular para dar consistencia a la mezcla en la elaboración adobes y evitar agrietamientos futuros.
- Los sistemas de aprovechamiento de calor diseñados en las envolventes exteriores, tienen una transmitancia de $U_{pisos} = 2.55 \text{W/m}^2\text{k}$, $U_{techo} = 0.84 \text{W/m}^2\text{k}$ y $U_{muro} = 1.52 \text{W/m}^2\text{k}$, los cuales están dentro de los límites establecidos en el reglamento nacional de edificaciones y cumplen con las características para la zona de ceja de montaña.
- Ecológicamente el diseño eficiente es simétrico con orientación norte – sur para aprovechamiento ideal del recorrido solar en el día, con vanos de hasta 40% para ventilación e iluminación orientados en este – oeste y muros con alta inercia geoméricamente direccionados para producir microclimas ideales en cada ambiente.
- El desempeño térmico del modelo indica que la temperatura máxima interior asciende a 23.03°C en el mes de Enero, mientras que la más baja se encuentra en zona de semi confort a 20.60°C en el mes de Julio, por lo tanto se considera al diseño aceptable ya que cumple con los límites de confort establecidos por la metodología.

VIII. RECOMENDACIONES

A las autoridades:

- Se recomienda promover mediante la inversión de programas la construcción de viviendas sostenibles en la zona y así también implementar un plan de desarrollo urbano en donde introduzcan un sector destinado a viviendas ecoeficientes en la ciudad, de esta forma se contribuye y concientiza al uso racional de recursos económicos y ambientales.

A los ingenieros consultores y constructores:

- Tomar en cuenta la normativa EM 110 “Confort térmico y Lumínico” en la elaboración de los estudios para proyectos de edificaciones, a fin de brindarle calidad sostenible a las construcciones.
- Implementar el uso de materiales no convencionales que contribuyan a mejorar el rendimiento y confort térmico en los proyectos de edificación.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas:

- Promover la investigación científica sobre los nuevos sistemas constructivos ecoeficientes y térmicos, para así plasmar nuevos lineamientos constructivos que mejoren el rendimiento de las edificaciones y puedan ser aplicables a la realidad local y nacional.

A los docentes universitarios:

- Promover la capacitación a los docentes sobre las nuevas tendencias de construcción, así como también la correcta aplicación de las normativas actualizadas para construcciones sostenibles en el país.

A los estudiantes de la escuela profesional de ingeniería civil:

- Se recomienda a los estudiantes ampliar las investigaciones sobre edificaciones ecoeficientes, así como también innovar nuevos sistemas constructivos que mejoren las condiciones de calidad de vida del usuario.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- * AULI, E (2007). *Guía para obtener una vivienda sostenible: las claves de la armonía ecológica, social y económica en su hogar*. (1era. Edición). Barcelona: Editorial CEAC.
- * BALESTRINI, M. (2001). *Como se elabora el proyecto de investigación*. (1era Edición). Caracas: Editorial BL Consultores Asociados.
- * CUELLAR, F. (2013). *Diseño arquitectónico sostenible y evaluación energética de una edificación*. (Tesis Postgrado). Universidad de Cuenca, Cuenca.
- * DEFFIS, A. (1992). *La casa ecológica autosuficiente: Para climas cálido y tropical*. (1era Edición). México, D.F.: Editorial Concepto.
- * FERNÁNDEZ, G. (1994). *Clima y confortabilidad humana, Aspectos metodológicos*: Madrid.
- * HERNÁNDEZ, F. y BAPTISTA, P. (2006). *Metodología de la Investigación*. (2da. Edición). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.
- * HUAYLLA, F. (2010). *Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda alto andina del Perú*. (Tesis Postgrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- * INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI). (2007). *VI Censo Nacional de Vivienda* (Datos estadísticos). Recuperado de: www.inei.gob.pe/normas/consultas.asp.
- * MERCADO, Y. (2012). *Edificación sustentable*. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- * MORALES, R Y OTROS (1993). *Manual para la construcción de viviendas de adobe*: Lima. Universidad Nacional de Ingeniería.
- * MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHACHAPOYAS. (15 de julio del 2013). *Plan de desarrollo urbano*. (Documento PDF). Recuperado de: http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/PDU_MUNICIPALIDADES/CHACHAPOYAS/TOMO%20I.pdf.

- * MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHACHAPOYAS (2013). *Plan de desarrollo económico local de la provincia de Chachapoyas*. Chachapoyas.
- * MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHACHAPOYAS. (15 de julio del 2013). *Plan de uso de suelo*. (Documento PDF). Recuperado de: http://eudora.vivienda.gob.pe/OBSERVATORIO/PDU_MUNICIPALIDADES/CHACHAPOYAS/RESUMEN%20EJECUTIVO%20CHACHAPOYAS.pdf.
- * PALACIOS, B. (2007). *La casa ecológica leonesa*, (1era edición). Guanajuato: Editorial REZZA.
- * PUCP, GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL (2009). *KoñiWasi: Casa Caliente*. Lima.
- * TONDA, J. (2003). *El oro solar y otras fuentes de energía*. (3era edición). México: Editorial Fondo de Cultura Económica
- * Vásquez, J. (2014). *Diseño de un sistema eléctrico residencial con energía solar, para suministrar energía a la red eléctrica de una vivienda unifamiliar en Yopal-Casanare* (Tesis pregrado). Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingenierías-ECBTI, Casanare.

ANEXOS