

Vivienda rural bioclimatizada para mejorar el confort térmico en la zona altoandina

Henry-Mark Vilca-Apaza
Juvenal-Galo Ticona-Chura



DOI: 10.35622/inudi.b.023

EDITADA POR
INSTITUTO
UNIVERSITARIO
DE INNOVACIÓN CIENCIA
Y TECNOLOGÍA INUDI PERÚ



Vivienda rural bioclimatizada para mejorar el confort térmico en la zona altoandina

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.023>

Henry-Mark Vilca-Apaza

<https://orcid.org/0000-0001-6982-7645>

Con afiliación a la Universidad Nacional del Altiplano
Puno - Puno, Perú
hvilca@unap.edu.pe

Juvenal-Galo Ticona-Chura

<https://orcid.org/0000-0003-4373-893X>

Con afiliación a la Universidad Nacional del Altiplano
Puno - Puno, Perú
juvenalgticona@gmail.com

**Instituto Universitario
de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú**

Vivienda rural bioclimatizada para mejorar el confort térmico en la zona altoandina

Henry Mark Vilca Apaza
Juvenal Galo Ticona Chura
(Autores)

ISBN: 978-612-5069-11-5 (PDF)

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-07001

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.023>

Editado por Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C
Urb. Ciudad Jardín Mz. B3 Lt. 2, Puno – Perú

RUC: 20608044818

Email: editorial@inudi.edu.pe

Teléfono: +51 973668341

Sitio web: <https://editorial.inudi.edu.pe>

Primera edición digital

Puno, agosto de 2022

Libro electrónico disponible en

<https://doi.org/10.35622/inudi.b.023>

Editores:

Wilson Sucari / Patty Aza / Antonio Flores / Jannina Quilca /

Descripción de la portada:

La vivienda de la portada del presente libro es de propiedad del señor Juan Palao Berastaín, Chucuito – Puno – Puno - Perú.

Las opiniones expuestas en este libro es de exclusiva responsabilidad del autor/a y no necesariamente reflejan la posición de la editorial.

Publicación sometida a evaluación de pares académicos (Peer Review Doubled Blinded)

Publicado en Perú / *Posted in Peru*



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución 4.0.

Contenido

SINOPSIS	9
SYNOPSIS	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I	13
MARCO TEÓRICO	13
CAPÍTULO II	60
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y MARCO METODOLÓGICO	60
2.1. Descripción de problema	60
2.2. Objetivo de la investigación	63
2.3. Método, diseño y tipo de investigación	63
2.4. Variables de investigación	64
2.5. Población y muestra	66
2.5.1. Población	66
2.5.2. Muestra	66
2.6. Técnicas e instrumentos de investigación	67
2.6.1. Técnicas	67
2.6.2. Instrumentos de recolección de datos	67
2.6.3. Ensayos de laboratorio	67
2.6.1. Validez	67
2.6.2. Confiabilidad	68
2.7. Procedimientos de investigación	68
2.7.1. Método de análisis de datos	68
2.8. Consideraciones éticas	69
CAPÍTULO III	70
EXPOSICIÓN DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	70
3.1. Exposición resultados	70
3.1.1. Objetivo específico 1: resultados del diseño arquitectónico	70
3.1.2. Objetivo específico 2: Resultados del diseño del sistema solar pasivo: invernadero	84
3.1.3. Objetivo específico 3: resultados de la evaluación del adobe para el módulo .	90
3.1.4. Objetivo específico 4: resultados de la evaluación de la capacidad portante del suelo	103
3.1.5. Objetivo específico 5: resultados del análisis sísmico estructural del módulo VRB	109

3.1.6. Objetivo específico 6: resultados de la elaboración de la maqueta del módulo de VRB a esc. 1:10	115
3.1.7. Objetivo general: resultados de la medición de temperatura (T°C) y humedad relativa (HR%) y determinación del confort térmico	118
3.2. Discusión	136
3.3. Conclusiones.....	140
3.4. Sugerencias.....	142
REFERENCIAS	143
ANEXOS.....	148

SINOPSIS

Este libro es una adaptación de una investigación presentada en la Universidad Nacional del Altiplano (Perú), cuyo objeto fue determinar la eficiencia del diseño del Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado para mejorar el confort térmico en la zona Altoandina de Puno. El estudio fue de tipo experimental y diseño cuasiexperimental con dos grupos, cuyas técnicas de investigación fueron la observación y el ensayo de laboratorio. La población de estudio estuvo conformada por el conjunto de módulos de vivienda rural bioclimatizado que se pueden construir en la región Puno; la muestra, por una vivienda rural típica del distrito de Pichacani, provincia y departamento de Puno y una maqueta del módulo de vivienda rural bioclimatizado elaborado a escala 1:10. Como resultado se obtuvo que el Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado diseñado con adobe de la zona y estrategia solar pasiva (invernadero) resulta eficaz para mejorar el confort térmico de los ambientes en la zona altoandina, mejorando la temperatura interna en un 37% respecto de la temperatura exterior y en un 27% respecto de la casa típica de adobe de la zona, alcanzando una Humedad relativa confort de 56% concordante con la norma ASHRAE ESTANDAR 55. Se espera que el Módulo VRB pueda constituirse en una alternativa de construcción en las zonas altoandinas de Perú.

Palabras clave: adobe, casa caliente, confort térmico, sistema solar pasivo, vivienda rural bioclimatizada.

SYNOPSIS

This book is an adaptation of a research presented at the National University of the Altiplano (Peru), it aimed to determine the efficiency of the design of the Bioclimatized Rural Housing Module to improve thermal comfort in the High Andean area of Puno. The study was of an experimental type and quasi-experimental design with two groups, whose research techniques were observation and laboratory testing. The study population was made up of the set of bioclimatized rural housing modules that can be built in the Puno region; the sample, for a typical rural house of the district of Pichacani, province and department of Puno and a model of the bioclimatized rural house module elaborated at 1:10 scale. As a result, it was obtained that the Bioclimatized Rural Housing Module designed with adobe from the area and passive solar strategy (greenhouse) is effective in improving the thermal comfort of environments in the high Andean area, improving the internal temperature by 37% compared to the outside temperature and 27% compared to the typical adobe house in the area, reaching a comfort relative humidity of 56% in accordance with ASHRAE STANDARD 55. It is expected that the VRB Module can become a construction alternative in the areas Highlands of Peru.

Keywords: adobe, warm house, thermal comfort, passive solar system, bioclimatized rural housing.

INTRODUCCIÓN

El estudio aporta una amplia revisión literatura científica relacionada al desarrollo de viviendas bioclimáticas y el confort térmico desde la teoría científica y la normatividad nacional e internacional.

Los más perjudicados por las temperaturas extremas en la región Puno, especialmente durante las noches, donde se llegan a registrar temperaturas inferiores a -20°C en la provincia de Mazocruz, son los niños y los adultos mayores. Para enfrentar este clima desfavorable se propone diseñar una vivienda cálida empleando materiales de la zona que favorezcan el acondicionamiento térmico como el adobe y estrategias de ganancia pasiva de calor eco-amigables.

La región Puno zona altoandina es frígida por su ubicación, donde las casas son inconfortables, por lo que es preciso diseñar viviendas, además de sostenibles, bioclimáticas para mejorar el confort en los ambientes interiores, y que además sean estéticas arquitectónicamente y ya no rústicas. Si bien, la iniciativa vine desde tiempos atrás, con propuestas de implementación de viviendas bioclimáticas en Puno y en Perú por la PUCP, CARE Perú, y otros organismos nacionales e internacionales, ayudaron a solucionar el problema de bajas temperatura en viviendas de una sola planta instalando dispositivos aclimatadores; sin embargo, dichas experiencias descuidaron la variable modernidad y dignidad. Los pobladores de las zonas rurales no sólo desean viviendas confortables, sino casas que estén acorde a al desarrollo y la modernidad, es por ello que proponemos una vivienda rural caliente y digna de dos niveles construida con adobe y adosada con dos sistemas solares pasivos.

Esta propuesta de diseñar un módulo de vivienda rural se efectúa en el marco de las políticas sociales, es decir, pueda tomarse como política de Estado orientado al proceso de mejorar la situación actual de las viviendas de los ciudadanos que no cuentan con la posibilidad de enfrentar económicamente la construcción de una vivienda digna, vale decir, que tenga las condiciones de habitabilidad. El Estado debe ser quien proporcione, financie y organice la entrega de viviendas cálidas, pero también dignas, a este sector de la población.

Dentro de las políticas del Estado existe el denominado Programa Nacional de Vivienda Rural (PNVR) del Ministerio de Vivienda con el objetivo de reconstruir,

reforzar y mejorar las condiciones de las viviendas rurales existentes de los pobladores en condición de pobreza y extrema pobreza en el Perú. En el Perú, el PNVR ejecuta proyectos de construcción de unidades habitacionales que en las regiones altoandinas brinden confort térmico y seguridad estructural. En ese marco, el estudio se propone desarrollar un diseño de módulo de vivienda rural bioclimatizado que pueda ser replicado en cualquier región altoandina del Perú. Se pretende que el Ministerio de Vivienda acoger e implementar este diseño como política de Estado a favor de las comunidades campesinas que sufren los estragos de las bajas temperaturas, y puedan así mejorar sus condiciones de vida a través del acceso a una vivienda cálida, pero sobre todo digno acorde con las exigencias de la modernidad. Se espera que los resultados contribuyan al cúmulo de soluciones sostenibles y replicables que pudieran ser incluidas por programas estatales o privados de apoyo a la vivienda y el desarrollo rural en beneficio de los pobladores de las zonas altoandinas.

El módulo de vivienda rural bioclimatizado se encuentra dentro del conjunto de viviendas de interés social (VIS) desarrollado por Giraldo y Herrera (2017).

La propuesta del Módulo VRB, al emplear estrategia solar pasiva, implica el descarte de energías convencionales cuyos costos resultan elevados. En su lugar, se pretende aprovechar la energía calorífica natural (rayos del Sol) a través de sistemas solares pasivos, que resulta gratuita y de constante disposición, lo que implica ahorro económico para las familias de zonas pobres y muy pobres, además de contar con una energía eco-amigable.

Dado que se pretende diseñar un módulo de vivienda rural bioclimatizado empleando material de la zona, como el adobe que tiene propiedades térmicas y estrategias solares pasivas, se constituye en una alternativa de solución ante la inminente contaminación del ambiente consecuencia de la industria de la construcción y por el desmedido uso de las botellas descartables. Entonces, la propuesta combate el eminente deterioro del ambiente que habitamos los seres vivientes es por ello la necesidad de plantear alternativas ecológicas de construcción. Uno de los sectores con más contaminación de medio ambiente es la industria de la construcción, así como la explotación desmedida de la materia prima. Por lo que se justifica con proponer alternativas eco amigables entre el ambiente y la construcción sin importar que estas sean trascendentales.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

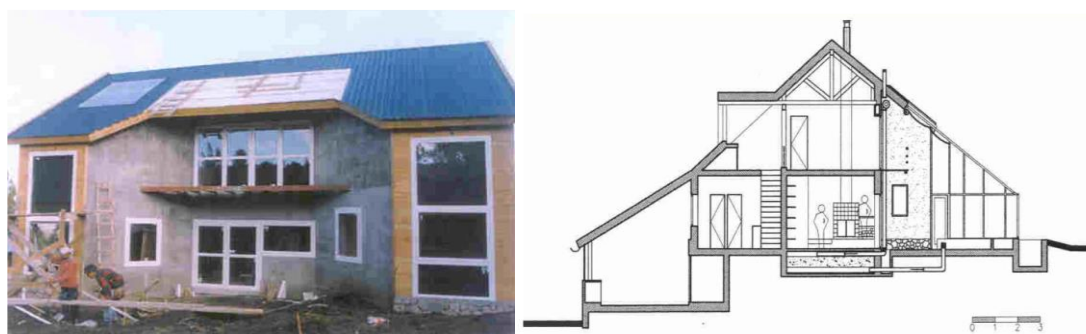
Para contrarrestar el clima agreste y las temperaturas bajas poco hospitalarias de la región altoandina de Puno, aunque existen ciudades y lugares más fríos en el mundo, se han desarrollado un sinnúmero de proyectos e investigaciones sobre las propiedades térmicas de los diferentes materiales para diseñar viviendas confortables e iniciativas de Organismos No Gubernamentales y Universidades privadas y públicas ya hace más de una década.

Como antecedentes, a nivel internacional, sobre estudios acerca del confort térmico en las viviendas, se tiene en primer lugar el estudio desarrollado, en el 2013, por Vásquez López denominado “Vivienda sustentable en comunidades rurales, caso: municipios aledaños a Tuxtla Gutiérrez, México”, en el que se propone criterios ecológicos y eco-técnicas sencillas y costeables para su diseño, que consisten en la protección y conservación del agua, minimización del consumo de los recursos naturales y energía, así como el manejo de desechos y el desarrollo urbano, , utilizando los materiales y sistemas de construcción amigables con la naturaleza, y otros de acuerdo a las características de la región, propiamente en el municipio de San Fernando, Ocozocoautla y Berriozábal. El estudio recomienda que el diseño y ejecución requieren tener conocimiento de su complejidad y las necesidades de sus ocupantes, así como de los aspectos climáticos, urbanos, arquitectónicos y tecnológicos.

Otro estudio está referido a la construcción y diseño de una vivienda solar unifamiliar compuesta por cuatro miembros ubicada Río Negro - Argentina, en una región bioambiental, situada a una latitud de 41°S, a 950 m.s.n.m., y se caracteriza como muy fría. Dicha vivienda consta de dos niveles; en la primera se encuentran los ambientes para comedor-sala, estudio, oficina y tres dormitorios; en el segundo nivel, dormitorio y estudio. Se han empleado materiales de construcción locales y de bajo impacto ambiental como madera y piedra. Para obtener mayor ganancia térmica, en el lado norte utilizaron tres sistemas solares pasivo es decir invernadero con superficie de 48m² adosado sobre lecho de piedra; claraboyas ubicadas en el techo de la vivienda para obtener radiación en época de invierno, entre otros (Huaylla, 2010). Ver figura 1.

Figura 1

Fachada norte de la vivienda previo al colocado del invernadero



Nota. Tomado de De Schiller (2005).

A nivel nacional, existe el estudio desarrollado por Velarde (2014) denominado “Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas de dos pisos de adobe existente en Lima”, concluye que las casas de dos plantas de adobe son vulnerables a un sismo severo, esto es que, los muros de la segunda planta tienen mayores aceleraciones. Lo anterior, se debe a que existe debilidad de las conexiones entre muros y las uniones están agrietadas. En el segundo nivel se advierte falla potencial por volteo porque los muros se encuentran en vibración basta un agrietamiento mínimo presentaría mayores posibilidades de caer puesto que estas no están unidas entre sí por una estructura.

Se tiene también el estudio de Ximena Rivasplata realizado en el 2018 denominado “Modelo de vivienda climatizada para el distrito de Calana utilizando métodos solares pasivos” cuyo objetivo fue realizar el diseño de una vivienda climatizada utilizando sistema bioclimático solar pasivo en Calana – Tacna, - con esto demostró que es posible ayudar a lograr el confort térmico utilizando sistemas solares pasivos y material de la zona. Aplicando un tipo de investigación aplicada y predictivo concluye que: El uso integrado de tecnología solar pasiva en la casa (doble vidrio e invernadero) y el empleo de material de construcción nativo (adobe), permite proponer un modelo de vivienda rural caliente, además tiene ventajas económicas (autoabastecimiento), sociales, y ecológicas, y pueden tomarse como ejemplo en proyectos futuros en otras regiones o latitudes. Es conveniente económicamente porque al emplearse recursos naturales constructivos saludables y sostenibles, se reduce

considerablemente el precio a S/ 632.61 con material de la zona y S/ 972.23 utilizando materiales modernos.

En el año 2012, Miguel Ronald Corrales Picardo desarrolló un estudio con el objetivo de demostrar cuan eficaz es el sistema solar pasivo para mejorar la temperatura de las viviendas en lugares de densidad media en la ciudad de Huaraz. Para ello, examinó diferentes sistemas solares pasivos. Diseñó cinco viviendas con sistema solar pasivo similares con diferente sistema de calentamiento relacionándolos con una construcción típica de la zona. Para la evaluación energética empleó los métodos de análisis por simulación correlativa. Concluye que, para mejor captación de la radiación solar en las edificaciones, deben orientar sus aperturas como ventanas y puertas con orientación este - oeste, para obtener mayor rendimiento térmico, que orientarla al norte-sur. La vivienda que mejor se comporta térmicamente, en cuanto a los aspectos culturales y ambientales de la población de Huaraz, es la vivienda construida con sistema solar pasivo con ventana y claraboya; en segundo lugar, se tienen las viviendas que cuentan con patio cubierto.

A nivel de la región Puno en primer lugar, se tiene el estudio desarrollado en por Chaiña Flores (2017) denominada “Propuesta de vivienda rural saludable en el Centro Poblado de Accaso del distrito de Pilcuyo El Collao-Ilave Puno” concluyendo que: La vivienda común vernácula es siempre un ambiente en forma de rectángulo con la finalidad de servir como dormitorio y simultáneamente como cocina y despensa, el que tiene desventajas de no contar con buena ventilación e iluminación. La distribución interna, alberga un extremo para el “patahati” o “iquiña” que sirve como cama, en otro extremo, pegado al mojinete, se ubica el fogón para preparar los alimentos y depositar la bosta, leña los utensilios de cocina como “kona” o el molino. Considerando dicha distribución de ambientes, los autores diseñaron la vivienda rural saludable, donde la falta de iluminación, ventilación, asoleamiento y circulación fueron solucionados con un patio central, propusieron habitaciones con espacios adecuados, ventanas más grandes, cocina con menos humo, con sistema de desagüe en los servicios higiénicos con biodigestor a fin de brindar una vida digna a los pobladores. Los autores sugieren que su implementación tiene como prerrequisito la voluntad política, condiciones económicas y ambientales favorables.

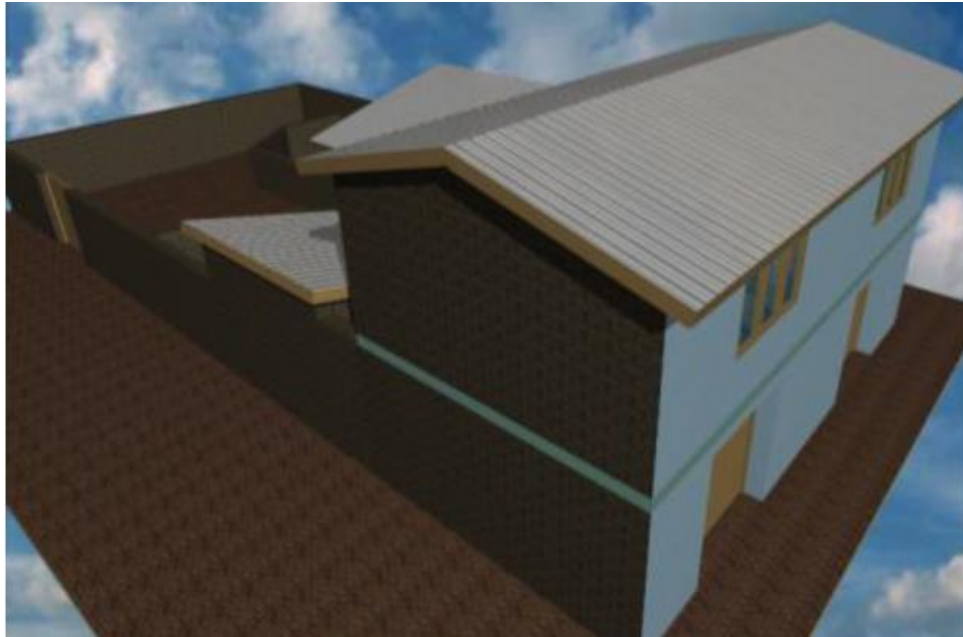
Se halló también el estudio de Nativio Acero del 2016 denominado “Evaluación y diseño de vivienda rural bioclimática en la Comunidad Campesina de Ccopachullpa del distrito de Ilave”, la misma que partió del indicio que: muchas familias habitan en una sola habitación- dormitorio de inadecuada construcción que alberga de tres a cuatro miembros, cuyo diseño no considera el confort térmico, permitiendo filtraciones de aire frío y puentes térmicos en puertas, ventanas y techo; por lo que Acero (2016) diseñó una vivienda rural bioclimática en un área de 157.02 m² de 3 ambientes (uno de 19.90m² y dos 13.83m²). Los muros fueron construidos de adobe con espesor de 0.38m, techo de dos aguas con calamina. El techo contiene seis claraboyas traslúcidas de policarbonato para admitir el ingreso del calor por radiación solar, el cielo raso fue hecho de triplay habiéndose acondicionado ductos con puertas corredizas para el ingreso de la radiación solar y evitar la pérdida del calor durante las horas nocturnas. Los pisos fueron aislados térmicamente con la técnica de machihembrado con madera donde se colocó planchas de poliestireno y durmientes de madera, con puertas de madera contra placado entre ellos con aislante de poliestireno, a fin de contrarrestar pérdidas de calor. A toda esta estructura familiar, y para brindarle confort térmico, se adosó en una de sus paredes invernadero de 2.8 m X 13.9 m X 1.7 m en el muro de los dormitorios, que a su vez cuenta con pasadizo en la parte posterior. El invernadero solar tipo fitotoldo tuvo una orientación hacia el norte, a fin de reducir la pérdida de calor y, más bien conservando la temperatura interna respecto a la exterior. Con todas estas propuestas ecotécnicas se logró un confort térmico en el interior de la vivienda alcanzándose una temperatura de 18°C, lográndose con ello que la vivienda fuera capaz de auto solventarse con tecnologías pasivas.

En el 2017 Roel E. Mamani Condori emprendió el “Prototipo de vivienda con adobe mejorado en el distrito de Chupa – Azángaro” con el objetivo de determinar un prototipo de vivienda y evaluar las viviendas existentes con adobe mejorado en distrito de Chupa – Azángaro. Luego de desarrollar el estudio con una metodología HIPOTÉTICO – DEDUCTIVO, análisis y propuesta de diseño (aplicativo), arribó a las siguientes conclusiones: es posible mejorar los adobes con cualidades físicas y mecánicas establecidos en la Norma E.080 agregando PET (politereftalato de etileno) y cemento; asimismo se logró disminuir su volumen y se mejoró su resistencia (mayor de 12kg/cm²) y calidad. Para que la

vivienda rural sea cálida en invierno se incorporó claraboyas considerando la orientación adecuada. De acuerdo a lo revisado el estudio no incluyó el diseño de una vivienda sino la propuesta de cómo se puede mejorarla utilizando adobe con TEC.

Figura 2

Prototipo de vivienda con adobe PET para mejorar el confort térmico.



Humpiri Lazarte, en el 2016, realizó el estudio denominado “Vivienda rural saludable como estrategia de desarrollo en las comunidades de Coline, Cayco (Crucero Alto) y Alto Huancané, del distrito de Santa Lucia - Lampa – Puno”, en el que a partir de un diagnóstico de la situación socio cultural y características físicas de las viviendas de la comunidad y materiales de la zona, se propuso un proyecto de vivienda rural saludable y segura en beneficio de los pobladores de dichas comunidades con la finalidad de brindar confort térmico entre el objeto y sujeto (con la implementación del sistema de muro Trombe). Los resultados indican que la Vivienda Rural Saludable, consiste en Vivienda familiar dotada de los servicios básicos (terma solar, tanque elevado, biodigestor, aparatos) y cobertizo y corral, ofrece las condiciones necesarias para ayudar a mejorar la calidad de vida, comfortable con práctica de higiene, y así evitar enfermedades; por otro lado, los materiales de la zona propuestos para su construcción son de

aceptación de los pobladores. Una debilidad de esta tesis es el análisis de costos y presupuesto.

Figura 3

Vivienda Rural con calidad de vida y confort térmico, Puno.



Nota. Tomado de Humpiri Lazarte (2016).

En el año 2018, Edilson Huanca Salazar desarrolló una investigación cuyo objetivo fue determinar los procedimientos constructivos y su configuración estructural aprovechando la energía solar para lo cual realizó un prototipo de vivienda rural para alcanzar el confort térmico en zonas altoandinas de la región Puno, estudio que no precisa la metodología empleada, pero que luego del procesamiento de datos llega a las siguientes conclusiones: Logró desarrollar un prototipo de vivienda bioclimatizada aprovechando los rayos del sol, incorporando Colectores Solares, parecido al muro Trombe, que son envolventes cristalinas para captar la energía solar, del que se derivó una maqueta a escala (1/10) con materiales reales como el adobe cuya masa tiene baja conductividad térmica. La maqueta sirvió para corroborar el confort térmico calculado en el software Ecotect, evidenciándose sólo 2°C de diferencia en comparación al modelamiento teórico.

Figura 4

Prototipo de vivienda rural bioclimatizado, Puno



Nota. Tomado de Huanca Salazar, E. (2018).

En el año 2017, Néstor Rolando Flores Cervantes desarrolló una investigación con el objetivo de Diseñar y construir una vivienda utilizando materiales térmicos para evaluar el confort térmico en zonas donde la altitud es mayor a 3800 m.s.n.m. en Puno. Es estudio fue de tipo experimental. Los resultados indican que se construyó una vivienda de adobe acondicionando térmicamente con K'esana (tejido de totora) el cielo raso y a la vez los muros, ambos revestidos con yeso, se reforzó el piso con plástico y así evitar la capilaridad, en el entablado se realizó el empedrado y la puesta de cámara de aserrín. Cuenta con vanos de madera (puerta y ventana), con claraboyas en el techo, obteniéndose una temperatura promedio de 16.0838 °C. Con ello concluye que la vivienda con el empleo de materiales térmicos mejora el confort térmico, con ello las condiciones de vida.

Existe la tesis doctoral realizado en el 2021 por Hugo A. Ccama-Condori con el propósito de estimar la sensación térmica relacionado al confort térmico en espacios escolares de la zona altiplánica de Puno y modificarla con fines de ganar confort térmico en la localidad de Pacaje, con temperaturas inferiores a 0°C, ubicada a una altitud de 4345 m.s.n.m. en el distrito de Macusani, Carabaya,

región Puno. La envolvente del aula convencional con muros y tabiquería con enlucido de cemento-arena con un espesor de 2.00 cm, cobertura de calamina galvanizada, cielo raso de material triplay de 4mm, pisos de madera machihembrado; con ventana de vidrio de 2" y puertas de madera. Por su lado, el aula modificada consistió en una envolvente muros de albañilería y cielo raso tratados con poliestireno expandido de 2" revestido con placa de yeso; el piso tratado con tecnopor de 2" y acabado de madera machihembrada, ventanas con vidrios dobles. El estudio concluye que la temperatura calculada fue de 8.6°C en el aula convencional y de 12.82°C para el aula modificada, habiendo una diferencia significativa.

También se tiene el estudio de Leonel Suasaca Pelinco y otros (2020), realizado en Puno – Perú en el año 2019 con la finalidad de evaluar la temperatura y humedad relativa el interior de una vivienda construida con ‘paca de avena seca’ en los muros. Los parámetros se midieron por 21 días en el mes de octubre a las 5:00 am y 7:00 pm. Los resultados fueron los siguientes: la vivienda construida a base de pacas de avena seca se mostró con mayor confort térmico que las viviendas tradicionales del altiplano en 1.1°C a las 5:00 am, mientras que en exterior de la vivienda de paca de avena la temperatura mínima era 0.1°C, en el interior la mínima era de 9.7°C, siendo superior en 1.1°C a la vivienda típica de la región altoandina estudiada. A las 7:00 P.M, en tanto en el exterior la temperatura tenía una mínima de 8.7°C y una máxima de 10.2°C; en el interior, la mínima era de 17.5°C y la máxima de 18.3°C Respecto a la humedad relativa, en la vivienda de paca de avena seca, la HR máximo era de 47% a la 5:00 A.M y de 43% a las 7:00 P.M, permitiendo con ello disminuir la humedad al interior de la vivienda construida y, por ende, disminuir las enfermedades respiratorias.

Figura 5

Prototipo de vivienda rural bioclimatizado, Puno



Nota. Tomado de Suasaca Pelinco, Leonel et al. (2020).

De acuerdo a las investigaciones revisadas, se deduce que, si bien existen propuestas de casas sostenibles y calientes, estas no superan de ser de un nivel (una planta) y al margen de los parámetros de la modernidad y la dignidad, como las ejecutadas por CARE – Perú, el Grupo PUCP y otras entidades. Estas viviendas calientes o bioclimáticas son producto de la adaptación de tecnologías a las casas existentes de uso múltiple, que es la otra debilidad de estos proyectos, es decir, no solucionan el problema del hacinamiento, puesto que un solo ambiente sigue teniendo usos múltiples: dormir, cocinar, ocio y reuniones, inclusive para crianza de animales menores. Así, las casas calientes desarrolladas, si bien otorgan confort térmico, no solucionan el problema de la calidad de vida y la dignidad a los pobladores de las zonas rurales altiplánicas. Las experiencias de viviendas o casas cálidas de un solo nivel conservan en esencia el estilo constructivo de las viviendas de hace 10000 años a.C., es decir conservan su artesanidad y rusticidad.

Lo que se propuso en el presente estudio fue diseñar una vivienda rural bioclimatizada de dos niveles que no solo le otorgue confort térmico sino también calidad de vida. Este módulo VRB se diseñó bajo el sistema aporticado para darle seguridad ante un sismo y con el empleo de un sistema solar pasivo y materiales

de la zona como el adobe con propiedades térmicas para otorgarle confort térmico a la vivienda. El diseño arquitectónico corresponde a una vivienda moderna y digna. Por estas razones, el estudio resulta viable a raíz de que los antecedentes no solucionan el problema identificado. Estas investigaciones han desarrollado técnicas o ecotecnologías orientadas a casas de un nivel o manteniendo la estructura simple y ancestral no habiendo desarrollo moderno que le otorgue mejores y mayores condiciones de vida.

Vivienda rural bioclimatizada

Una vivienda es aquel espacio físico donde las personas habitan y transcurren gran parte de su vida; es el ambiente para reponer fuerzas, desarrollar actividades que estrechan relaciones socio-afectivas y fortalecer la unidad familiar (Humpiri, 2016; Cortés, 1995). Social y culturalmente, la vivienda es un conjunto de sistemas interactuantes entre sí que dan lugar a espacios habitables con determinadas y diferentes condiciones (Mercado, Esteves y Filippín, 2010).

Robledo (1985) precisa que vivienda no es cualquier cosa que proteja de las inclemencias del tiempo. Una vivienda debe ser definida acorde con el grado desarrollo material (tecnológico - científico) y espiritual o cultural de la sociedad. Para Robledo (1985) la vivienda debe ser aquel espacio suficiente, higiénico y seguro de modo que permita al ser humano el correcto cumplimiento de sus actividades y metas en concordancia con la evolución de la sociedad.

La vivienda es la construcción que más está relacionada a la calidad de vida de los pobladores, sus deficiencias generan daños colaterales en la salud y la educación (Arévalo, 2013). Si lo anterior es cierto, una situación de precariedad e insalubridad de la vivienda, afectará la salud física y mental de sus habitantes, en especial de la población más vulnerable, que son los niños y ancianos (Humpiri, 2016). Por lo expuesto, la vivienda debe brindar seguridad, ofrecer intimidad, descanso y bienestar, así como confort térmico, porque es un espacio de humanización del hombre, como diría Morín (1999). Desde los orígenes, la sobrevivencia humana dependió de la vivienda; pero en actualidad, satisface muchas de las necesidades directa e indirectamente, entre ellas, las de desarrollo personal y familiar.

Una vivienda rural, por encontrarse en medio de las inclemencias de la naturaleza, requiere ser protegido y dotado de confort térmico, de lo contrario quienes la habitan no se sentirán cómodos. Para lograr tal fin, es decir, atemperar las viviendas, se utilizan los recursos del clima y un diseño adecuado para o uso de materiales locales (Cisneros, 2017). Como dicen Rodríguez-Larrain y otros (2015), la vivienda rural andina es un tema político prioritario. La misma debe considerar factores como seguridad, salud y confort térmico para brindar calidad del hábitat, o lo que es lo mismo, bienestar social y cultural a sus ocupantes.

La vivienda rural no solo debe mejorar su temperatura interna sino ser un espacio seguro y saludable para sus ocupantes (Harman, 2010).

La vivienda tiene la función de protección o seguridad no sólo ante las inclemencias del tiempo sino de los peligros que corre el ser humano al estar expuesto a las fieras o incluso ante sus semejantes. La vivienda se constituye en un ambiente que posibilita el cumplimiento de la función de ocio y desarrollo personal y profesional, puesto que le otorga el espacio para que pueda realizar sus actividades superiores como el estudio, la creatividad. La vivienda no puede ser aquel monoespacio compartido para diferentes fines, sino que debe ser debidamente diseñado para el pleno desenvolvimiento del ser humano, y con dignidad.

El módulo VRB recoge estas exigencias, pues se proyecta como una vivienda rural de interés social y bajo los principios de las estrategias pasivas o de diseño arquitectónico con un análisis de las alternativas de climatización pasiva que, como dicen Giraldo y Herrera (2017), privilegian los procedimientos naturales. El módulo VRB tiene la característica y la ventaja de conservar la temperatura al interior de la vivienda dentro de los rangos de confort térmico adecuados, y una de las maneras de lograrlo es aplicando estrategias solares pasivas que se fundan en mecanismos naturales y no requieren de energía convencional.

Las ventajas de la vivienda caliente son, entre otras:

- **Confort térmico.** El confort térmico se obtiene empleando en el proceso constructivo materiales que tengan cualidades de resistencia a los cambios climáticos o propiedades térmicas y con sistemas de calefacción natural como son los sistemas solares pasivos, en este caso el invernadero. Al estar diseñado con

sistema solar pasivo, aprovecha el calor natural, evitando el consumo de energía artificial que deteriora del ambiente. Es necesario integrar energías renovables, y no consumir combustibles fósiles, para evitar la contaminación (Gómez, 2014).

- **Mejores condiciones de salubridad.** Cuando una vivienda cuenta con ambientes existe un descongestionamiento de las actividades propias del hombre del campo que las realiza en una sola habitación, y por ende el mismo aire el más favorable para la respiración y por ende se favorece la salubridad la que es apoyada con la presencia de servicios básicos en la misma vivienda. Ofrece mejores condiciones para un estilo de vida saludable, al contar con ambiente físico cómodo para todos sus integrantes.

- **Seguridad.** Al estar diseñado bajo los parámetros sismorresistentes, el módulo brinda seguridad a sus ocupantes, pues se debe considerar que el proyecto se ejecutará en una región ubicada en la zona sísmica 3.

- **Duraderos y sostenibles en el tiempo.** El módulo VRB, al estar construida con materiales que no se deterioran con el paso del tiempo, está diseñado para que tenga una larga vida útil, para cumplir con su ciclo de vida efectiva.

- **Dignidad.** Al contar con un diseño de vivienda estética, arquitectónicamente diseñado, con una estructura sismorresistente, de dos niveles, con un número suficiente de ambientes que cubre las necesidades del poblador, el módulo le otorga dignidad.

- **Ventilación.** El módulo está diseñado para aprovechar la ventilación natural.

- **Iluminación natural.** En climas muy soleados se recomienda utilizar ventanas pequeñas; en tanto, las habitaciones de zonas frías deben tener ventanas amplias que permitan su iluminación.

- **Mejores condiciones de habitabilidad y desarrollo.** Una vivienda rural debe invitar a la permanencia del ser humano, no sólo debe servir para dormir y desarrollar actividades como el cocinar y pernoctar. Los ambientes deben ser cómodos y adecuados para que el habitante del medio rural realice diversas actividades dentro de ella, dentro de ellas las de realización. La vivienda debe ser el espacio donde el hombre pueda desarrollar sus potencialidades y realizar sus actividades académicas, culturales, recreativas, de ocio y reunión. En la

actualidad, las reuniones las realiza en el patio o a la intemperie. Es por ello, que la habitación se ubica en el segundo nivel y no junto a la cocina.

- **Integralidad.** En pleno siglo XXI, la vivienda rural debe ser íntegra y completa (incluido los servicios básicos) deben satisfacer las necesidades humanas. Los servicios no deben estar aislados de ella como sucede actualmente. Los silos y los ambientes de ducha y servicios higiénicos se encuentran aislados de la vivienda, pudiendo estar junto. Es decir, los paquetes de asistencia social que viene del estado deben ser íntegros y no por separado y con enfoques diferentes.

Condiciones mínimas para que una casa sea bioclimática

Para Vásquez López (2013), la vivienda rural debe también ser sustentable, deben desarrollarse bajo criterios y prácticas eco-amigables, beneficiando a las comunidades, para ofrecer una mejor calidad de vida. Para Gómez (2014), una edificación es bioclimática (con confort térmico) si cubre los requisitos siguientes:

a. Proyecto bioclimático. La vivienda debe garantizar los principios elementales de la arquitectura bioclimática: captación y almacenamiento de energía natural, aislamiento térmico, sistema de protección de la alta radiación solar propio en el verano, para ello, debe utilizar recursos naturales de la zona y fuentes de energía renovable, provenientes del sol y la ventilación.

b. Ventilación cruzada. La vivienda debe disponer de ventilación natural cruzada entre fachadas opuestas a fin de contar con un caudal suficiente de aire exterior y que garanticen la extracción y expulsión del aire viciado por los contaminantes (CTE DB-HS3).

c. Iluminación natural. Toda vivienda debe tener una distribución de ambientes que posibilite el ingreso de luz natural, empleando materiales constructivos que optimicen la incidencia de la luz solar en la vivienda. Los ambientes destinados a zona de vida deben tener una ubicación al exterior, y los de servicios, estarán en segundo orden.

d. Materiales. Los materiales a emplearse en la construcción deben ser de bajo impacto medioambiental, mejor si son naturales, de la zona.

Técnicas, eco-técnicas y materiales para obtener confort térmico

a. Técnicas arquitectónicas para obtener confort térmico

Las políticas ambientales de conservación del medio ambiente exigen y promueven construcciones que sean amigables con la naturaleza, y en ese marco se impone en pleno siglo XXI la denominada Arquitectura Bioclimática, y dentro de ese marco se desarrolla el módulo de vivienda rural bioclimatizado, térmicas, de confort térmico, eco sostenibles o de arquitectura solar pasiva, lo cierto es que el contenido es el mismo.

Las modernas tendencias arquitectónicas realzan no solo el valor estético, sino también responden a las condiciones y exigencias climáticas de cada lugar (Arévalo, 2013), es decir, deben brindar confort térmico, iluminación natural en los espacios interiores, propender al consumo de energía renovable y al aprovechamiento de las condiciones naturales del entorno.

La arquitectura denominada bioclimática es aquella que combinando un conjunto de técnicas y materiales logran conseguir un confort térmico adecuado que responde a las expectativas del habitante. De acuerdo a Ibañez et al (2005) esta arquitectura busca el control y la optimización del comportamiento energético de las viviendas, reduciendo de ese modo el impacto ambiental negativo. Para ello se aprovecha al máximo los mismos elementos constructivos y funcionales de la vivienda, tomando en consideración las características climáticas del emplazamiento donde se ubica.

Este enfoque de la arquitectura tiene cada vez más aceptación debido a que resulta ser una solución eco-amigable frente al consumo de energía en los edificios y el efecto en el deterioro del medio ambiente. Las modernas edificaciones actuales requieren cada vez más de altos niveles de confort mediante instalaciones mecánicas, eléctricas, térmicas a costa del consumo de grandes cantidades de energía (Huaylla, 2010) al punto que a mayor comodidad mayor gasto de energía. Por lo tanto, resulta ser una opción estratégica que las casas rurales se enmarquen en el enfoque de del desarrollo sostenible y específicamente en el marco de la arquitectura bioclimática,

La arquitectura bioclimática, puede tomar los mismos criterios que se necesitan para diseñar una vivienda común o estándar. Estos criterios son: ubicación y orientación, distribución y geometría.

Ubicación y orientación

La ubicación está referida a la orografía de la zona, los alrededores y las condiciones climáticas y cómo afectarían a la vivienda (Huaylla, 2010). Dichas condiciones pueden ser macro climáticas (temperatura, radiación solar, dirección del viento, etc.) y micro climáticas (pendiente del terreno, elevaciones, existencia de edificios, etc.). es importante que la vivienda se adapte al terreno e integre a las características del sitio (Yeang, Ken (1999), citado por Arévalo, 2013).

Figura 6

La vivienda (izquierda) es irradiada por el sol todo el día, en tanto la de la derecha estará en la sombra y con vientos frecuentes



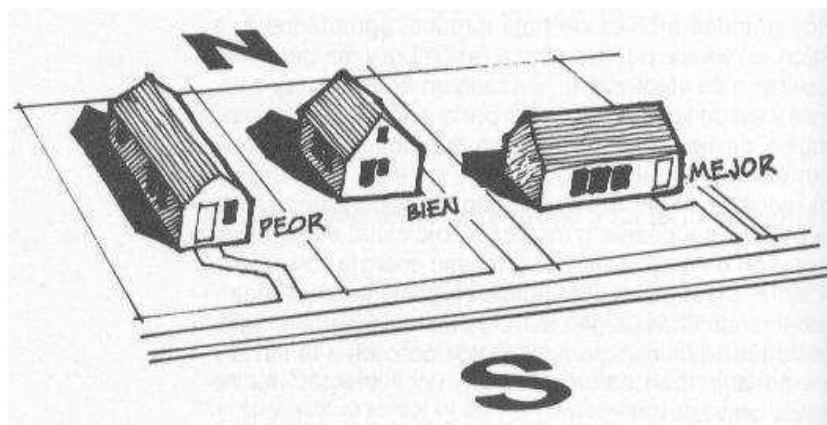
Nota. Tomado de García (2009), citado por Huaylla (2010).

De otro lado, la orientación se refiere a la posición que opta la vivienda respecto al eje Norte-Sur (Huaylla, 2010). Para Ghoreishi (2011), la orientación de la vivienda es necesaria para una mejor captación de los rayos solares para mejor climatización de los ambientes internos en invierno. En el hemisferio sur, se sugiere orientar hacia el norte las superficies en las que se busca mayor incidencia de radiación solar (Huaylla, 2010). En el hemisferio norte, la orientación este-oeste es la más óptima, con una mínima inclinación al oeste y máxima al sur, para de ese modo, haya ventilación cruzada norte-sur (Vásquez, 2013). De acuerdo a esta teoría, en el hemisferio sur, que es el caso de Puno, los ambientes principales, considerando que requieren condiciones más confortables, deben situarse en la

fachada norte, y en la fachada sur deben estar situados los ambientes como corredizos, pasillos, servicios higiénicos, etc. La orientación de la vivienda es un criterio arquitectónico a considerar, pues de ella dependerá el aprovechamiento al máximo de las horas de luz.

Figura 7

La vivienda debe tener la mayor superficie posible orientada al norte



Nota. Tomado de M. Leandro Reguillo

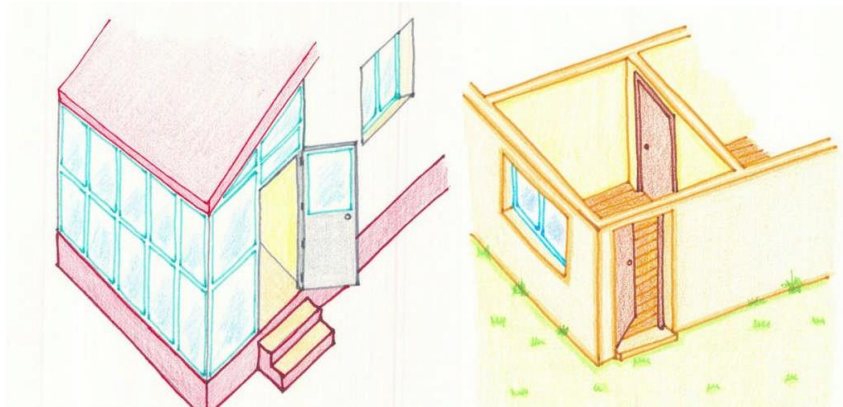
Distribución

Una adecuada distribución e interconexión de los ambientes internos de una vivienda es fundamental para una mayor eficiencia energética. Se recomienda distribuir adecuadamente la energía solar en los ambientes para ganar potencial de confort térmico. Según Huaylla (2010), los ambientes primordiales, como la sala, comedor y cocina, deben ubicarse en la fachada norte de la vivienda para ser favorecidos por la radiación solar durante todo el año. El ambiente destinado para dormitorio debe situarse en la fachada este a fin que sean iluminados y calentados por la radiación solar por las mañanas. Los talleres y ambientes de trabajo (estudio, biblioteca) situados en la fachada oeste, Finalmente, los ambientes accesorios, como las escaleras, pasillos y depósitos, en la fachada sur, porque son espacios que no requieren mayores condiciones de confort térmico.

Los espacios de trabajo, como estudio o talleres, deben estar orientados en la fachada norte, mejor aún se pueden emplear un “espacio tapón” a ubicarse entre la radiación del sol incidente y el espacio de trabajo, evitando sobrecalentamientos con aperturas (Huaylla, 2010).

Figura 8

Espacios tapón: invernadero (izquierda) y espacio de doble puerta (derecha)



Nota. Tomado de García (2009), citado por Huaylla (2010).

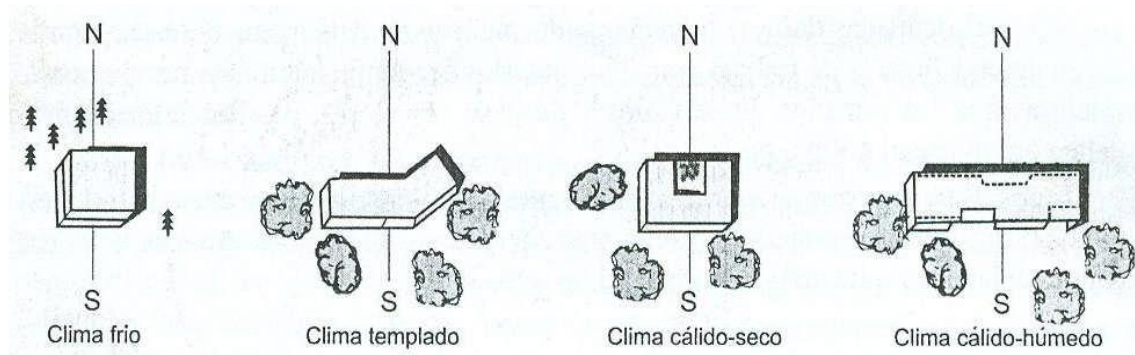
Geometría

La geometría, en la arquitectura bioclimática indica 'entre más área de contacto con el exterior, mayores serán las ganancias o pérdidas de energía', siendo muy perjudicial en climas extremadamente fríos o cálidos, aunque beneficioso para climas templados (Ibáñez, Rossll y Rossell, 2005). Obviamente, en el hemisferio sur, lo recomendable será mayor área de contacto con el exterior para la ganancia solar.

Un criterio a tener en cuenta para diseñar viviendas bioclimáticas es el 'factor de forma' que es lo mismo, relación Área/Volumen. De acuerdo a este criterio, en climas muy cálidos o muy fríos, el 'factor de forma' debe ser. Más específicamente, para climas fríos, como es el caso de Puno, la geometría recomendada es la trapezoidal, es decir, la fachada norte (que deberá ser la más larga) debe recibir la radiación solar y la fachada sur (la más corta) debe ser aislada térmicamente (Huaylla, 2010). Veamos, en la figura 9 la geometría más recomendada para climas fríos.

Figura 9

La geometría más adecuada para ganar confort térmico según el tipo de clima



Nota. Tomado de Ibañez et al. (2005)

b. Sistemas solares pasivos para obtener confort térmico

La arquitectura bioclimática aprovecha la energía natural disponible con la finalidad de lograr condiciones de confort al interior de los ambientes de una vivienda a través del calentamiento (en zonas frías) o enfriamiento (en zonas cálidas) aprovechando, para lograr ello, la energía solar o las condiciones climáticas.

Las estrategias solares pasivas (SSP en adelante) son definidas como colectores de radiación solar con la finalidad de, una vez concentrada la energía, elevar la temperatura del aire en el interior de la vivienda, provocando la convección natural y causando que fluya aire dentro del dispositivo. Los parámetros, para lograr tal fin, a considerar son la absorptividad de los materiales, el ángulo de inclinación, el clima, la localización y el asoleamiento (Giraldo y Herrera, 2017). Para Huaylla (2010), la SSP consiste en que la radiación solar incidente es capturada por la superficie colectora (una pared o un invernadero), luego, dicha energía es almacenada en la masa térmica que finalmente es liberada por convección o por radiación durante las horas de ausencia de radiación solar (cielo nublado o durante la noche) ocasionando el calentamiento de los espacios habitacionales.

Para Bruce Anderson (1984), autor de la 'Guía Fácil de la Energía Solar Pasiva', los SSP deben incluir el modelado, selección y uso de una correcta tecnología solar pasiva, de modo que conserve el interior de la vivienda a una temperatura agradable (confort térmico), aprovechando la radiación solar a lo largo del año.

Esta tecnología implica sencillez, mayor fiabilidad, menores costos y mayor ciclo de vida (Rivasplata, 2018).

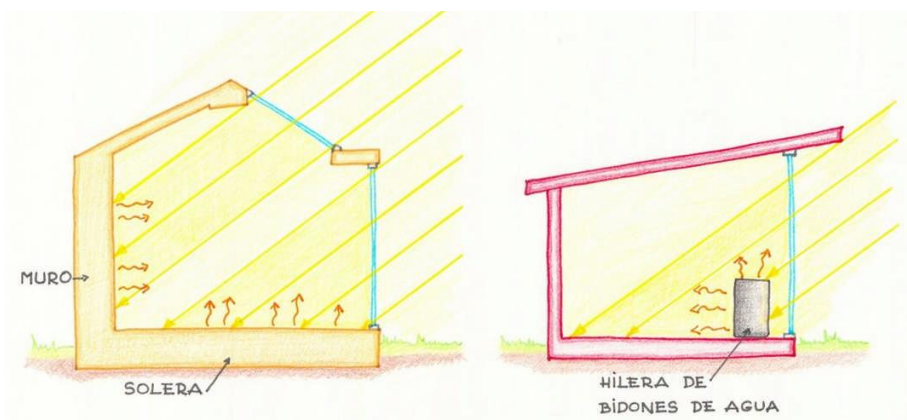
Los sistemas solares pasivos se pueden clasificar en tres grandes grupos, de acuerdo a Huaylla (2010): ganancia directa, ganancia indirecta y ganancia aislada.

Sistema de calefacción de ganancia directa

Este sistema permite el ingreso de la radiación solar directamente a los ambientes interiores, a través de las ventanas, claraboyas y luminarias. La energía calorífica es almacenada en paredes y pisos, almacenando energía durante el día (debido a la radiación solar incidente) y calentando el ambiente durante la noche (debido al calor almacenado y emitido por las paredes). Este sistema aprovecha entre el 60% y 75% de la energía solar que incide sobre los acristalamientos (Huaylla, 2010).

Figura 10

Sistema de ganancia solar directa. Energía almacenada en muro y piso (izquierda) y almacenada en masas térmicas (derecha)



Nota. Tomado de García (2009), citado por Huaylla (2010).

Sistema de calefacción de ganancia indirecta

En este SSP, la radiación solar no ingresa directamente a los espacios internos, sino que incide sobre una masa térmica que pueden ser muro y lecho de almacenamiento, cubiertas de agua, etc. Un muro de almacenamiento conocido es el muro de inercia y el muro Trombe (Huaylla, 2010). El muro de inercia es un muro macizo que puede ser elaborado de piedra, hormigón, ladrillo macizo,

adobe, etc., con una orientación al norte. El espesor del muro de inercia está entre 25 y 40 cm, la cara exterior debe ser oscura y estar protegida con vidrio (para generar un efecto invernadero) a unos diez y quince centímetros de esta. Durante las horas del día, la radiación solar incidente calienta el muro, acumulando calor para cederlo, por radiación, al interior de la vivienda, con un retardo de unas 12 horas (por la noche) (Huaylla, 2010). Una desventaja de este sistema es que, debido al muro, resta iluminación a los espacios interiores.

Por otro lado, se tiene a los muros solares o también denominados muros de acumulación térmica. Los muros están pintados de color negro y se calientan debido a que el sol atraviesa el vidrio e incide sobre la pared. El calor se transmite posteriormente mediante el muro al interior de la vivienda manteniéndola a una temperatura permanente las 24 horas del día (Anderson, 1984; Rivasplata, 2018).

Figura 11

Muro de inercia en posta médica en Toquepala. Pared pintada de negro mate

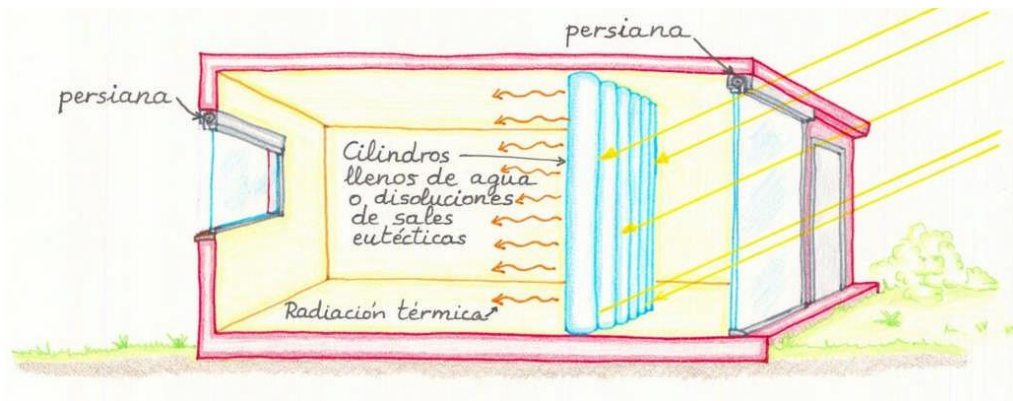


Nota. Tomado de Rivasplata, X. (2018).

Por su lado, el muro de agua, consiste en que el agua es almacenada en bidones que actúa como material que almacena calor. El agua tiene una mayor capacidad calorífica y conductividad térmica que otros materiales como el hormigón, por ejemplo. Es recomendable aislar el 'muro de agua' de la vivienda durante el día a fin de evitar sobrecalentamientos, y retirar el aislamiento por la noche. El espesor del 'muro de agua' es de 15 cm aproximadamente (Huaylla, 2010).

Figura 12

Muro de agua, se observa agua almacenada en cilindros

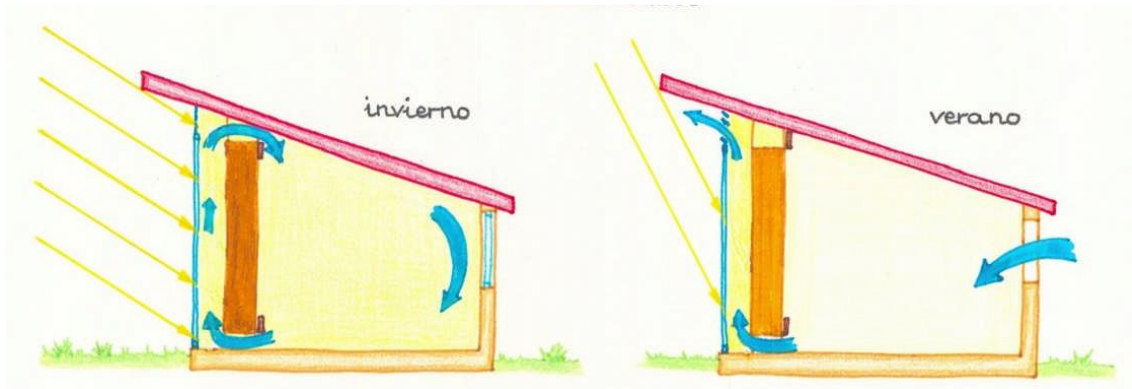


Nota. Tomado de García (2009), citado por Huaylla (2010).

Finalmente, el ‘muro Trombe’ es un muro que dispone de unas rejillas o aberturas regulables ubicadas tanto en la parte inferior como superior del mismo. Las aberturas permiten que el aire circule desde la cámara hacia el interior de la casa. Con este sistema el calentamiento del espacio interior dura todo el día, debido a que el aire caliente almacenado en la cámara penetra al interior de la vivienda durante las horas de sol y, durante la noche, al cerrar las aperturas (agujeros) de circulación, el muro actúa como un muro de inercia, manteniendo caliente el ambiente interior por convección y radiación. A su vez, por los agujeros superiores, el aire frío del ambiente retorna a la cámara expuesta al sol (Rivera, 2014). El muro Trombe llega a entregar calor almacenado en la cámara por un periodo de entre 8 y 10 horas. El porcentaje de la superficie total de las rejillas (agujeros) está entre el 0.3% y 0.5% de la superficie total del muro Trombe. Esta técnica puede ser utilizado también para refrescar los espacios interiores, usando una técnica denominada ‘efecto chimenea’ (Huaylla, 2010).

Figura 13

Muro Trombe, para calentar en invierno y para ventilar en verano



Nota. Tomado de García (2009), citado por Huaylla (2010).

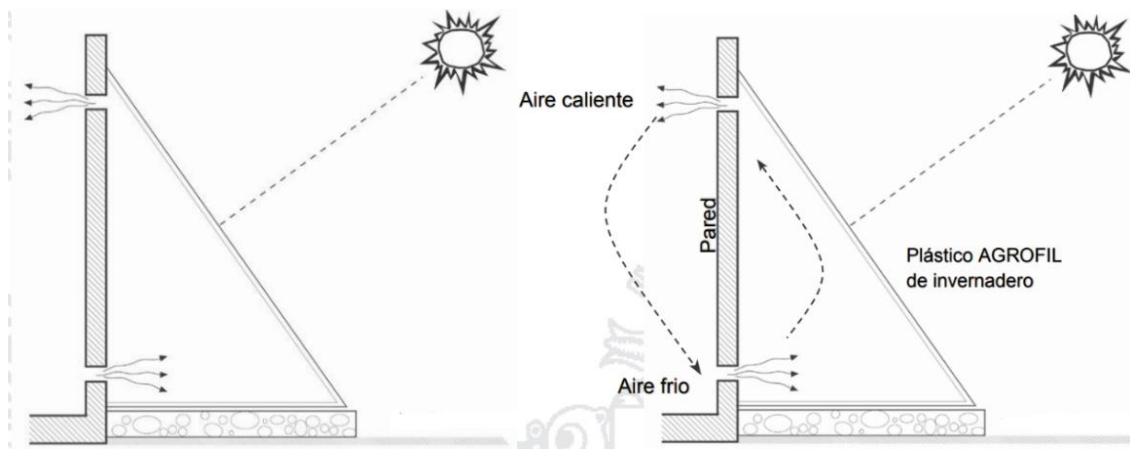
Al muro de aperturas se adosan paredes acristaladas orientadas al sur (Gómez, 2014). Este recinto adyacente a la vivienda tiene una superficie expuesta hacia el sol. Dentro de la cámara de cristal, el aire alcanza alta temperatura, el mismo es canalizado al interior de la casa, para así obtener calefacción. Por otro lado, el interior del Muro Trombe está relleno con piedras negras de río, con ello se logra mayor almacenamiento de calor en el día. Para mayor efectividad del muro Trombe, se sugiere aislar el techo con arpillera, cuya función es retener el calor transferido al interior de la casa (Rivera, 2014).

El muro Trombe es un sistema cuya función es recolectar energía solar que será utilizada para el calentamiento del interno de la casa. Este sistema acristalado, se construye colocando láminas de vidrio o plástico a determinada distancia entre la pared pintada de negro con agujeros y el ambiente exterior (Humpiri, 2016).

Para Humpiri (2016), el aire se calienta durante el día y se eleva hasta la parte superior del muro Trombe para ingresar al interior por los agujeros superiores. En tanto, el aire frío de la casa ingresa al muro Trombe por los agujeros inferiores, aquí el aire vuelve a calentarse para reingresar a la casa por los agujeros superiores. Es importante anotar que este proceso se invierte durante las noches, motivo por el que los agujeros se deben cerrar apenas oscurece.

Figura 14

Flujo de aire en el muro Trombe



Nota. Tomado de Humpiri (2016).

Sistemas de calefacción de ganancia aislada

Este sistema, que es la aplicará el presente proyecto, está conformada por invernaderos o viveros, galerías, lecho de rocas, etc., los mismos que están adosados a las viviendas o aislados físicamente de la misma, dependiendo de la opción. Según Huaylla (2010), en comparación con los sistemas anteriores, los sistemas de ganancia aislada logran transferir entre un 15% y 30% de la energía solar incidente sobre las superficies de captación de la vivienda. Dentro de este grupo tenemos a las habitaciones solares, invernaderos y galerías.

Las habitaciones solares vienen a ser el SSP tradicional más empleado. Su bondad es que ofrecen a la vivienda un espacio adicional habitable calentando por el sol, a la vez tener la sensación de encontrarse en el exterior de la casa. Son un área de amortiguamiento entre la vivienda y el exterior (Anderson, 1984; Rivasplata, 2018).

Figura 15

Habitaciones solares, distrito de Calana – Tacna



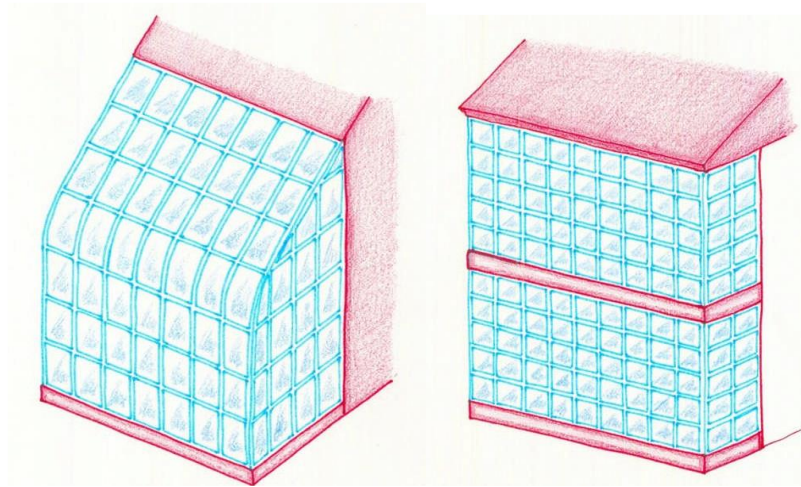
Nota. Tomado de Rivasplata, X. (2018).

Los invernaderos, por su lado, son espacios adyacentes a la vivienda con cerramientos generalmente de crista con la finalidad de capturar la energía solar incidente. La superficie perpendicular a la pared de la vivienda es generalmente mayor a dos metros debido a que tiene la ventaja de que la radiación solar, al incidir en el suelo, se almacene primordialmente allí. Para aprovechar la energía calorífica almacenado dentro de ella, se sugiere disponer de agujeros en la pared de la casa (Huaylla, 2010). Los cerramientos, como es el caso de los invernaderos, se caracterizan porque absorben, transmiten y acumulan energía (Ccama, 2019). Con ello, se garantiza un ambiente interior confortable.

Las galerías son ambientes muy similares a los invernaderos. La diferencia es que la superficie perpendicular a la pared es generalmente menor a dos metros.

Figura 16

Invernadero (izquierda) y galería (derecha) adosados a la vivienda

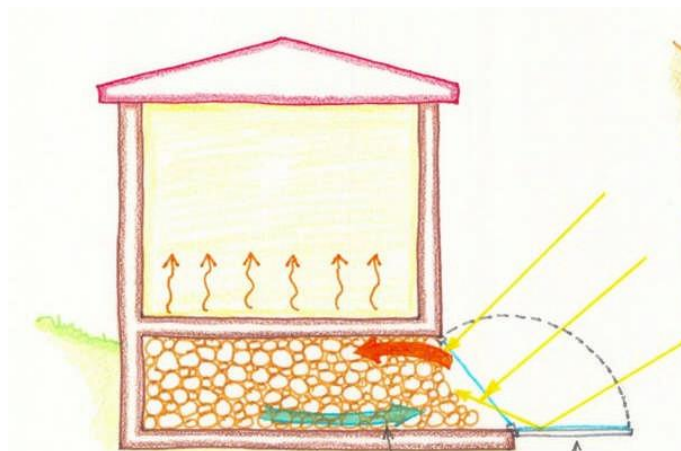


Nota. Tomado de García (2009), citado por Huaylla (2010).

Finalmente, los lechos de rocas, son también un sistema de ganancia aislada, ubicados debajo de la vivienda. Son lechos rellenos con roca (preferentemente negra) y tapados con un cristal en la cara donde incide la radiación solar. La energía solar es almacenada en las rocas que luego cederán a la vivienda por conducción, radiación o convección natural, aunque también puede empujada por la circulación de aire desde el espacio de rocas al interior de la vivienda (Huaylla, 2010).

Figura 17

Lecho de rocas negras



Nota. Tomado de García (2009), citado por Huaylla (2010).

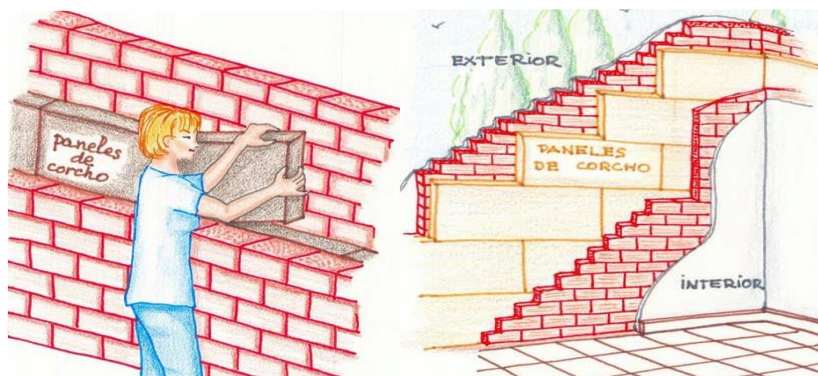
c. Diseño de Paredes y aislamientos

Técnica del doble muro. Cuando se diseñan casas o viviendas calientes, las paredes no solo sirven para aislar ambientes, sino que estas también cumplen otras funciones como el aprovechar la energía solar calorífica, por lo que estas deben diseñarse de modo que el proceso de las ganancias o pérdidas de calor entre el interior de la vivienda y el exterior sean favorables para calentar el ambiente. Para lo anterior, pueden emplearse varias técnicas en las paredes de la envolvente. La pared, por sus propiedades físicas, permite la transferencia de calor desde el exterior hacia el interior y, desde los ambientes más cálidos a los más fríos. La recomendación de Huaylla (2010) es que en climas fríos se debe contar con aislamientos térmicos en los muros de la pared envolvente, especialmente en la fachada sur. Este aislamiento puede darse en la superficie exterior o interior de la envolvente, en el primer caso permitirá la captación y acumulación del calor en la pared; y en el segundo caso, la retención del mismo en el aire de los espacios interiores.

Una segunda técnica es el aprovechamiento del color oscuro. El color oscuro permitirá mayor absorción de la radiación del sol (Huaylla, 2010). El color de los techos (tejado, calamina u otro) así como de las paredes (muro) tiene incidencia en la vivienda, en cuanto a la ganancia de calor. Los colores claros reflejan la luz, y esto trae como efecto que se refrigeren los espacios; por su parte, los oscuros absorben el calor de la luz. Un tejado de color claro, frente a uno de oscuro, reduce la absorción de calor en un 50% (Gómez, 2014).

Figura 18

Doble muro con aislamiento de paredes utilizando panel de corcho



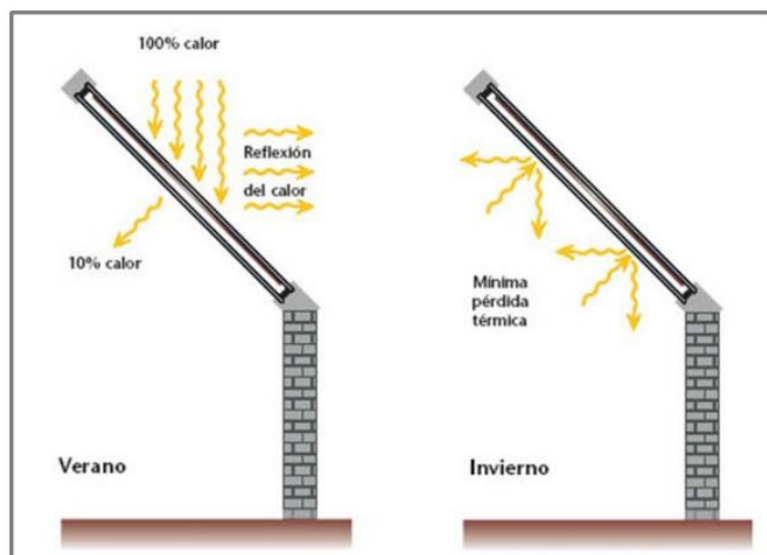
Nota. Tomado de García (2009), citado por Huaylla (2010).

Uso de vegetación. Si se rodea la vivienda de árboles de hoja caduca, se pone freno a la luz solar que supone el follaje en verano, pero seguimos disfrutando del sol en invierno. Las plantas y estanques de los patios interiores contribuyen a refrigerar el edificio. Elementos exteriores y complementarios, como pueden ser pantallas de vegetación y pérgolas, toldos, persianas fijas y móviles, etc. (Gómez, 2014).

Ventanas solares. Se deben orientar hacia el norte para y para reducir la pérdida de energía se coloca una segunda capa de acristalamiento en las ventanas, con ello se reduce la absorción solar en un 18% y se logra disminuir la pérdida de calor en un 50% (Anderson, 1984; Rivasplata,2018).

Figura 19

Ventana Solar de una vivienda bioclimatizada de Tacna



Nota. Tomado de Rivasplata, X. (2018).

Techos solares. Los techos solares, también llamados techos de acumulación térmica, consisten en bolsas de agua cuya finalidad es absorber calor durante el día. Los depósitos de agua absorben calor y lo transmiten al interior de la vivienda por medio de los techos (Anderson, 1984; Rivasplata,2018).

Pintura a base de nopal y cal. La pintura a base de nopal y cal, de bajo costo, otorga propiedades térmicas al muro. Esta solución ha sido muy aplicada por familias de México (Vásquez, 2013).

Totora. Esta planta, propio de los lugares húmedos y altoandinos del Perú, presenta propiedades térmicas. La totora (*Schoenoplectus californicus*) es un vegetal que crece a partir del nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m., con altas cualidades aislantes (Cisneros, 2016). En la región Puno, es ancestralmente utilizado para la construcción de viviendas, balsas de navegación, elaboración de productos artesanales, sombreros, etc. En la industria de la construcción es empleada en los cielos rasos de las viviendas.

La literatura científica exhibe una variedad de técnicas para generar confort térmico en los ambientes de las viviendas. Además de las descritas líneas arriba, están, por ejemplo, el techo de tejado, doble vidrio, ventilación correcta y aislamiento de los muros con poliestireno, para conseguir mayor eficiencia en el mantenimiento de la temperatura (Gómez, 2014). Es también una solución la reutilización de materiales, a través del proceso de reciclaje para la creación de otros, haciendo de las viviendas más sustentables (Vásquez, 2013; Gómez, 2014).

d. El adobe: material de la zona para ganar confort térmico

Es recomendable emplear materiales renovables o cuyo impacto sobre el medio ambiente sea el mínimo posible (Yeang, 1999; citado por Arévalo, 2013) o materiales que tengan características termodinámicas. Uno de estos materiales es el adobe, un material de construcción muy utilizada en el Altiplano peruano.

En el Perú, el material de mayor empleo en la industria de la construcción de viviendas es la tierra cruda. Al año 2010, el Instituto Nacional de Estadística e Informática indicó una cifra superior al 34% de las viviendas existentes en el Perú que emplearon este material. Lo anterior refleja la importancia de las casas construidas con adobe. Esta técnica no es ajena en el distrito de Pichacani; sin embargo, cabe resaltar que dichas viviendas no cumplen los estándares para una vivienda de calidad que satisfagan las necesidades primordiales de una familia en pleno siglo XXI.

La Norma E.080 define al adobe como la “unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja o arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad”. Para Basterra y Jové (2001, pág.1) es “una masa de barro mezclada con paja, moldeada con forma rectangular o cuadrada, de tamaño variante y secada al aire para obtener muros de fábrica”. La planta altoandina denominada ‘paja’ se utiliza para

proporcionar mayor adherencia al adobe (Vásquez, 2013). El Manual de Adobe del Ministerio de Vivienda, (2010) define al adobe como aquel bloque macizo de tierra sin coccionar que puede contener paja u otro material para mejorar su estabilidad frente a agentes externos. Si al adobe se incorpora otro material, como asfalto, arena, cal, cemento), a fin de mejorar sus propiedades de resistencia a fuerzas compresivas y su estabilidad ante la humedad, se llamará Adobe Estabilizado (Mamani, 2017). Por otro lado, si al adobe si le agrega una proporción de cemento para estabilizarlo, recomendado en climas extremos, se llama adocreto (Vásquez, 2013).

De acuerdo a estas definiciones se puede definir al adobe como una pieza maciza de barro crudo que eventualmente está compuesto básicamente por arcilla, el mismo puede estar mezclado con paja o ichu, crin de caballo u otro animal, fibras de lana, ceniza, moldeada de forma cuadrada o rectangular y secado al calor del sol. Para el Ministerio de Vivienda (2017) esta unidad al ser combinada con paja u arena adquiere mejores cualidades de resistencia y durabilidad.

La finalidad del adobe es constituirse en un elemento de albañilería, es decir, empleado en la construcción de los muros en una casa de adobe, cerco perimétrico u otras estructuras. El adobe tiene la cualidad de que en clima cálidos refresca y durante el invierno, guarda el calor. Este elemento, necesita protección de la lluvia mediante capas de barro o recubrimientos; por otro lado, es necesario indicar que no es buen aislante, recomendándose ‘el doble muro’ con aire en medio u otro aislante en el medio o en el exterior (Vásquez, 2013).

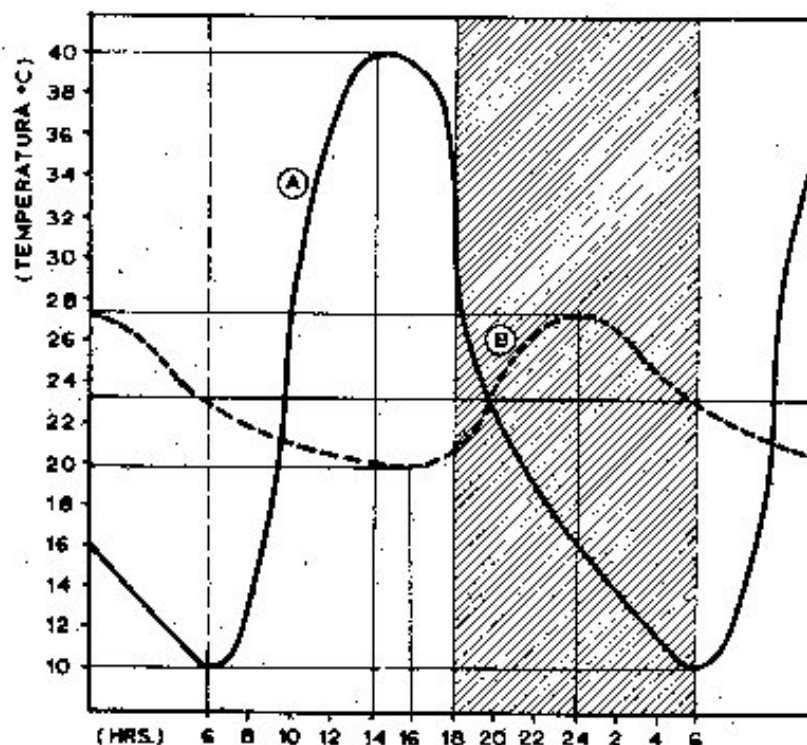
Las condiciones climáticas externas están relacionadas, en mayor o menor grado, con las condiciones de temperaturas internas de la vivienda, dependiendo de las propiedades físicas, geométricas y ambientales de los materiales empleados en muros, base-suelo, recubrimientos y techos. El adobe viene a ser un material de construcción con capacidad de almacenamiento de calor solar, por lo que es una opción en la construcción de casas ecológicas, más aún si consideramos que presenta una inercia térmica ventajosa. La inercia térmica de la pared, entendida como aquella capacidad de retener o almacenar el calor incidente del sol, que luego será redistribuido en la misma pared (en las unidades de construcción) y de reemitido durante la noche al interior de la vivienda (Huaylla, 2010); sin embargo, dependerá de la composición material del muro: tierra, piedra, tierra

coccionada, arena, arcilla, inclusive materiales ancestrales como ichu, paja, madera, yeso, etc.

Como dice Huaylla (2010) si se trabaja con muros de materiales ligeros, estos se calentarían o enfriarían en fase con la temperatura exterior o la incidencia del sol; sin embargo, si se trabaja con materiales densos y de gran espesor, este material almacenaría mucho más calor, de tal forma que la oscilación de temperaturas en los muros sería menor y más lenta, que en materiales ligeros; aunque también dependerá del tipo de material y no sólo del espesor. La redistribución del calor almacenado hacia el interior se puede dar con un desfase de horas (esto es, la conductividad térmica del material). Un muro (o unidad de albañilería) tiene una gran inercia térmica mientras más desfase genere a la onda de calor (capacidad de almacenar durante el día y reemitir por la noche (Huaylla, 2010).

Figura 20

La Curva A indica variación de temperatura en el exterior, y la curva B, variación de temperatura superficial interna.



Para Vásquez (2013), una eco-técnica es un conjunto de soluciones tecnológicas aplicadas a la construcción, pero respetuosos del ambiente, dentro de ellas podemos encontrar al adobe. Ahora bien, ¿de qué depende la capacidad de

almacenamiento y reemisión de la energía almacenada por un muro, es decir la inercia térmica?, pues de la combinación de tres propiedades físicas: calor específico, densidad y conductividad térmica (Huaylla, 2010).

Tabla 1

La Curva A indica variación de temperatura en el exterior, y la curva B, variación de temperatura superficial interna.

Material	Conductividad térmica (K=W/m*°C)	Densidad (d=kg/m3)	Calor específico	Coefficiente absorción	Coef. Emisión (C=kJ/kg°C)
Adobe	0.64 – 1.00	1.5 – 1.9	0.23	0.75	0.92
Teja	1.05	2.00	...	...	...
Ladrillo	0.72	1.97	0.23	0.68	0.9
Yeso (enl)	0.50	1.00	...	...	1.09
Paja	0.09	0.27	0.28	...	...
Aluminio	2.21	2.74	0.25	0.04	0.09

Nota. Tomado de Rozis J. y Guinebault A. Calefacción Solar para Regiones frías. En: Mamani (2017).

Pruebas para evaluar las condiciones de la tierra a emplearse en el adobe (Artículo 17 – Norma E.080)

Las siguientes pruebas, según Norma E.080, se efectúan con la finalidad de verificar que la tierra a emplearse en la elaboración del adobe contenga presencia de arcilla en proporciones adecuadas.

La Prueba Cinta de barro (Anexo 1, Norma E.080.) Para evaluar la presencia de arcilla en el suelo a emplearse (en aproximadamente 10 minutos). Esta prueba consiste en formar, con la ayuda de la palma de la mano, y a partir de un cilindro de 12 mm de diámetro, una cinta de barro con un espesor de 4 mm. Si la cinta se descuelga entre 20 cm y 25 cm, entonces el suelo será muy arcilloso; por el contrario, si solo alcanza 10 cm o menos, contiene poca arcilla.

La Prueba Presencia de arcilla o Resistencia seca (Anexo 2, Norma E.080). También es una prueba para evaluar la presencia de arcilla. Con la ayuda de la palma de la mano, se forman cuatro bolitas con el suelo agregándole mínima cantidad de agua. Las bolitas se deben secar durante 48 horas. Las bolitas serán de un diámetro de 2cm, como promedio. Elaboradas las bolitas y una vez secos,

se deben presionarlas con la ayuda del dedo pulgar y el índice. Si se quiebra (por lo menos una), volver a repetir la prueba. Si en la segunda prueba se vuelve a quebrar, se debe desechar la cantera o mezclar con arcilla. De no romperse la bolita, la cantera es apta para hacer adobes, el suelo es útil.

Esta prueba es de importancias, pues de no haber suficiente arcilla, la mezcla (agua y tierra), en estado seca, no será lo suficientemente fuerte; por el contrario, si no hay la cantidad suficiente de arena, el barro se encoge y se rajará el adobe en estado seco.

Figura 21

Prueba de resistencia seca



Nota. Tomado de la Norma E.080

La Prueba de Control de fisuras o Dosificación suelo-arena gruesa (Anexo 4, Norma E.080). esta prueba es para controlar las fisuras de secado y mejorar la resistencia seca. Su resistencia debe cumplir lo indicado en los numerales 8.1 o 8.2 y 8.3 del artículo 8 de la norma indicada. El control se realiza adicionando paja o fibras o arena gruesa. Se deben preparar emparedados de dos adobes unidos por morteros. El primero tendrá una proporción de una parte de suelo por cero de arena gruesa (1:0); el segundo, 1: 1/2; el tercero, 1:1, y así sucesivamente hasta llegar a la proporción de 1:3. Estos emparedados deben secarse por 48 horas. Luego, se abrirán en el orden establecido, observándose los posibles agrietamientos del mortero. La muestra que no presenta fisuras visibles es la proporción indicada.

Ensayos de campo

Prueba de rollo. Esta prueba se realiza con la finalidad de determinar la elasticidad del suelo, determinar si la tierra es apta para elaborar adobes. Se elaboran pequeños rollitos de barro de entre 5 a 15 cm. Si el rollito alcanza esta longitud, la tierra es buena; sin embargo, si se rompe antes de 5cm, se recomienda no usar esta tierra. Por otro lado, si los rollitos lograsen superar los 15 cm, se recomienda agregar arena.

Ensayo de resistencia a la flexión. Para este ensayo se deben elaborar 15 adobes. Una vez secados se evaluará su comportamiento respecto al agrietamiento por contracción de secado. Los adobes deben secar durante 5 semanas o 35 días. Una vez secos, se selecciona 5 adobes al azar. Estos adobes se colocan por encima de otros dos con un empalme de 5cm en cada adobe o cualquier otro objeto que sirva de base. Una persona con un promedio de 70 kg debe posarse por encima del adobe en prueba con un pie al centro. Si el adobe no logra quebrarse por un lapso de un minuto, entonces el adobe es apto para la construcción. Sin embargo, si logra romperse, se recomienda agregar arcilla a la mezcla.

Dimensiones y peso del adobe. Respecto a las dimensiones del adobe Diego De la Peña (2004) indica que el largo del adobe no debe ser mayor que el doble de su ancho más el espesor de la junta de pega: $l < 2a + e$ junta. El artículo 18 de la Norma E.080 prescribe que el adobe puede ser de planta cuadrada o rectangular. De ser cuadrado, la longitud no será mayor a 0.40 m.; de ser rectangular, el largo debe ser igual a dos veces su ancho. La altura puede oscilar entre 0.08 m y 0.12 m. El peso máximo del adobe admitido es 30 Kg. Cuando se observa una pared de adobe, se puede apreciar la falla por sismo que es a 45° (falla por tracción diagonal) (De la Peña, 2004).

Ventajas del uso del adobe

Si bien presenta la desventaja de presenta alta sensibilidad a la humedad y si son usados sin refuerzos no sirven como pared estructural, Soares (2008), citado por Martínez (2013), el empleo del adobe en la construcción tiene las siguientes ventajas:

- Al actuar como filtro mejora la calidad del aire en el interior de la vivienda.
- Fácil elaboración como material de construcción.
- Su elaboración requiere materiales de la zona.
- Es un material de bajo costo.
- Requiere solo de herramientas sencillas para su elaboración como en la construcción.

Experiencias de casas calientes desarrolladas en Perú y el mundo

Entre las propuestas de vivienda o casa caliente desarrolladas se tiene las siguientes:

a. El Proyecto Casa Caliente y Limpia o K'õñichuyawasi. Fue paquete tecnológico ideada por Bernardo Alayza y ejecutado por el Centro de Consultoría y Servicios Integrados Pontificia Universidad Católica del Perú (Innovapucp). Es una estructura conformada por tres elementos que favorecen la consecución del objetivo: pared caliente, cocina mejorada y techo sellado. Con esta propuesta tecnológica se disminuye el frío existente al interior de la vivienda y las emisiones de humo de los fogones ancestrales (q'uncha en quechua y qhiri en aimara), con la finalidad de mejorar la calidad de vida en la zona rural. Desde el año 2007, se han ejecutado alrededor de 70 Casitas Calientes (Abanto y Montenegro, 2016). Las casitas se ejecutaron en zonas rurales de Cusco (Lanqui, provincia de Canas), Huancavelica y Puno, a más de 3500 m.s.n.m.

Figura 22

K'oñichuyawasi, con pared caliente, cocina mejorada y techo sellado



Nota. Tomado de Abanto y Montenegro (2016).

El fundamento del proyecto fue la mortalidad por problemas respiratorios de los niños causados por el frío y el humo de las cocinas. Esta tecnología consiste en la incorporación del muro “Trombe”, que es una armazón de madera en diagonal con recubrimiento de plástico adosada a un muro exterior de la casa orientada hacia los rayos del sol de la mañana. El muro Trombe está orientada hacia el norte, para que el sol irradie durante el día. El aire frío ingresa a la vivienda a través de los tres agujeros inferiores. Al calentarse, el aire se vuelve más ligero e ingresa a la vivienda por los orificios superiores, elevando la temperatura. A la entrada del sol, los orificios serán tapados de modo que el aire no haga el camino opuesto, con ello se enfriaría la vivienda (Gómez, 2014).

Figura 23

Muro Trombe de una casita caliente



Nota. Tomado de El comercio.pe. (21 de octubre de 2016).

Este proyecto no sólo intenta calentar el interior de la vivienda rural, mediante el sistema de muro Trombe y el invernadero; sino que pretende incrementar la salubridad del ambiente a través de la implementación de las cocinas mejoradas cuyo fin es erradicar el humo producido al interior de la vivienda. La cocina mejorada tiene un sistema de aislamiento en el techo a fin de conservar el calor (Gómez, 2014). Este sistema incluye la incorporación de piedras pintadas de color oscuro. Además, el techo de la casa es reforzado con una arpillera que será pintada con una mezcla de cola y yeso, sellando la vivienda para evitar que se enfríe o evitar que se enfríe (Gómez, 2014), sellado de las puertas y ventanas con marcos.

Con las casitas calientes se logró elevar la temperatura del interior de las viviendas rurales hasta en 10 grados y evitar las emisiones del humo dañino del interior de la vivienda gracias a las cocinas mejoradas, previniendo enfermedades como la neumonía (Gómez, 2014).

Figura 24

Exterior del muro Trombe (izquierda) y mejorado de fogón



Nota. Tomado de Grupo PUCP (2009).

b. Casitas calientes para contrarrestar el friaje y la helada. Este es un proyecto que fue ejecutado por el Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (Foncodes) del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (Midis) a fin de combatir las consecuencias de las bajas temperaturas en las zonas altoandinas de Perú. El proyecto consiste en el acondicionamiento térmico de la vivienda existente a través de la incorporación de tecnologías como:

- Reforzamiento de muros con geomalla antisísmica a fin de ganar seguridad ante un eventual movimiento sísmico.
- Incorporación del muro “Trombe” adosado a una pared a fin de aprovechar el calor de la energía solar para luego transferirlo al interior de la misma. El muro es construido con policarbonato transparente. “La temperatura se eleva entre 10 a 15 grados en el dormitorio de la vivienda” (andina.pe, 2018).
- Incorporación de piso de madera con la técnica del machihembrad, para aislar la humedad.
- Incorporación de techo con arpilleria y revestido con yeso, para evitar que el calor salga al exterior por el techo.
- Incorporación de doble puerta y doble ventana, para evitar que el calor salga al momento de ingresar a la casa.

Figura 25

Proyecto Casita Calientes – Tacna



Nota. Tomado de Andina.pe. (15 de febrero de 2018).

c. Proyecto Mi Abrigo. Proyecto ejecutado en el año 2018. Es un proyecto de acondicionamiento de la vivienda rural para hacerla térmica y de ese modo reducir las consecuencias de las bajas temperaturas en este clima extremo (frío), desarrollado en la región Tacna. La primera fase benefició a las regiones de Tacna, Cusco, Apurímac y Puno, y la segunda, a Arequipa, Huancavelica, Moquegua y Tacna.

Figura 26

Proyecto Mi Abrigo – casita caliente



Nota. Tomado de Andina.pe. (15 de febrero de 2018).

d. El proyecto Haku Wiñay (Vamos a Crecer). Este proyecto fue ejecutado por FONCODES, y comprende cuatro componentes: fortalecer y desarrollar capacidades productivas para el sistema de producción familiar, transformar la vivienda en saludable, desarrollar capacidades de emprendimiento de negocios rurales para así generar ingresos monetarios y no monetarios y, desarrollar capacidades financieras en los pobladores pobres y pobres extremos de las zonas rurales. El desarrollo de capacidades consistió en que los mejores talentos de las comunidades brinden asistencia técnica al resto de familias, por ejemplo, para el manejo de las tecnologías productivas y constitución de pequeños negocios rurales.

Figura 27

Proyecto Haku Wiñay - Tacna



Nota. Tomado de Andina.pe. (15 de febrero de 2018).

Figura 28

Proyecto Haku Wiñay - Tacna



Nota. Tomado de Andina.pe. (15 de febrero de 2018).

e. Las casas bioclimáticas ‘Sumaq Wasi’. El proyecto fue desarrollado por el Ministerio de Vivienda, Programa Nacional de Vivienda Rural desde el 2015, aplicando “normas, sistemas y materiales constructivos que funcionan como aislante térmico, propicio para las bajas temperaturas” (El Peruano, 6 de julio de 2018). Esta casa bioclimática fue concebida para otorgar confort térmico mediante la captación del calor del Sol y utilizando materiales con propiedades

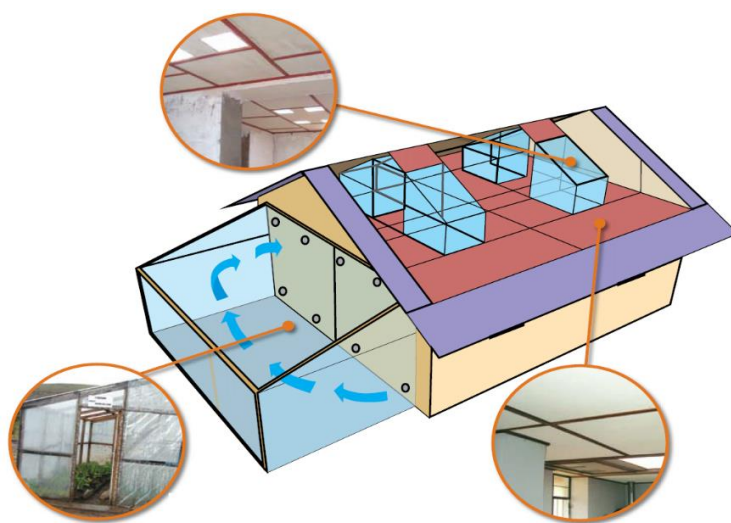
con buen aislamiento térmico, desarrollado a través siendo su infraestructura con diseño sismorresistente, esto es que cuentan con muros de adobe y refuerzos de caña colocados en forma horizontal y vertical.

f. Las viviendas altoandinas con confort térmico de CARE Perú. El proyecto incluye tres elementos básicos según Harman (2010):

- **Ductos Solares con lámina transparente.** Ubicados en el techo, para dotar mayor iluminación al interior y permitir el ingreso de radiación solar, a fin de incrementar la temperatura interna de la vivienda con ventanas corredizas.
- **Muros Trombe modelo fitotoldo.** Este sistema, ya expuesto, permite la transferencia de calor almacenado en el día hacia el interior de los dormitorios mediante intercambio - por el fenómeno de convección - de aire caliente y frío entre estos ambientes.
- **Cielo Raso.** Con tapajuntas centrales y rodones perimetrales, sujetado en un entramado de madera.
- **Pisos de madera.** Sobre capa de piedra para así evitar la pérdida de la temperatura y reducir la humedad.

Figura 29

Vivienda con confort térmico - CARE Perú



Nota. Tomado de Harman, L. (2010). Confort Térmico en Viviendas Altoandinas: un enfoque integral

Este proyecto ejecutado por CARE en convenio con la ONG Unión Europea y el Gobierno de Canadá, no informa sobre cuál fue la temperatura alcanzada con este diseño integral de vivienda caliente, solo proporciona algunas estrategias para mejorar las casas para dotarlos de confort.

g. Casa solar. Esta experiencia fue ejecutada en Juli, provincia de Chucuito, región Puno-Perú en el 2005 por la ONG suiza Missione Betlemme Immensee. Entre sus componentes se tiene: área rectangular de 88 m² (13.6m x 6.5m) que da lugar a los siguientes ambientes: un dormitorio, una sala-comedor, una sala de trabajo, un baño, un invernadero (adosado a un ambiente) y un invernadero pequeño como antesala al ingreso principal. Las técnicas aplicadas consisten en aislamiento térmico de paredes (adobe – espacio de aire – adobe), techo de calamina (fierro galvanizado) de una sola agua con orientación al norte, cielo raso de triplay (para aislar térmicamente el techo), aislamiento de pisos térmicamente (piedra – aire – y una configuración de estera, barro, tijerales y tablas machihembradas), unas claraboyas transparentes ubicadas en el techo para que ingrese la radiación solar directa, las que deben cerrarse en la noche. Los invernaderos son estructuras de fuente de calor y barreras que impiden el ingreso de aire frío (Huaylla, 2010). Esta vivienda fue complementada con terma solar para dotar agua caliente.

Figura 30

Casa caliente con invernadero adosado, claraboyas y aislamiento de las paredes.



Nota. Tomado de Huaylla (2010) y Flores (2017).

Confort térmico

“Una de las funciones principales de los edificios es proveer ambientes interiores que sean térmicamente confortables” (Rivasplata, 2018, pág. 77). Toda vivienda o casa, sea del medio rural o urbano, debe ofrecer confort térmico. Esto es, de acuerdo a la Norma EM.110, la “sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado”. Para ISO 7730, de acuerdo al Glosario de la norma EM.110 en su numeral 5.21, el confort térmico es “una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Existen artefactos para generar calor (de costo permanente), por lo que también se puede usar un diseño bioclimático pasivo (que significa una sola inversión) (Cisneros, 2016).

De acuerdo a la literatura, el confort térmico esta referido al grado de bienestar, salud y comodidad (ISO 7730, ASHRAE-2013), que permite al ser humano desarrollar sus actividades cotidianas con comodidad (dormir, estudiar, reunirse, etc.), es decir, sin que interfiera el frío o el calor extremos. Un adecuado confort

térmico reduce las posibilidades de contraer enfermedades, y en caso de adquisición, resulta ser un ambiente acogedor y saludable para recuperar la salud. El confort térmico resulta ser una condición fundamental para que el ocupante realice con satisfacción y eficiencia sus actividades al interior de la vivienda (Mamani, 2017). Desde la arista psicológica es la sensación mental del sujeto de sentirse satisfecho con un ambiente térmico (ISO 7730, 2005).

Diremos que existe confort térmico cuando los factores ambientales tales como la temperatura, humedad y movimientos del aire sean favorables a la actividad que desarrolla la persona, dicho de otro modo, no experimenta sensación de calor ni de frío. Entonces, las variables a considerarse evaluar el confort térmico son: la temperatura del aire, de las paredes y objetos que nos rodean, la humedad del aire, la actividad física, el tipo de vestido y, desde luego, la velocidad del aire (Humpiri, 2016).

La norma EM.110 es la que regula los lineamientos técnicos para el cálculo del “Confort térmico y lumínico con eficiencia energética” considerando la zona ha de ubicarse la construcción.

Esta postura es secundada por otros autores, que entre ellos indican: El confort térmico es una condición óptima de temperatura y humedad para una vida saludable (Cisneros 2016). Se deben considerar dos factores importantes para determinar el nivel de confort térmico al interior de un ambiente: temperatura y la humedad relativa del aire (Anderson, 1984).

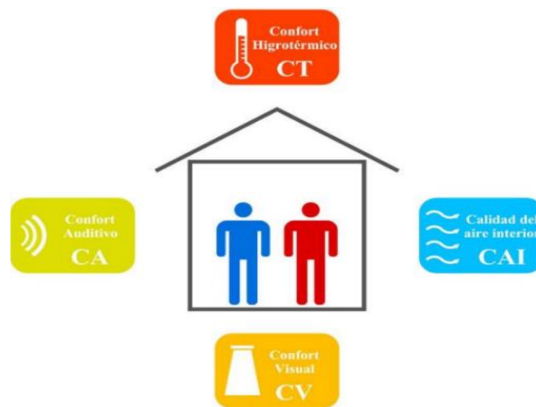
Existen dos modelos para medir el confort térmico: adaptativo y estático. El modelo estático o racional (ME), empleado por ISO 7730, evalúa la actividad metabólica, asilamiento de la ropa y el porcentaje de personas insatisfechas (PPD). El modelo adaptativo (MA), utilizado en el presente, utilizado por ASHRAE, se caracteriza porque el confort aceptable se determina midiendo parámetros meteorológicos o climatológicos en espacios que son habitados (Cortes y Muñoz, 2020). De acuerdo a los mismos autores, entre los parámetros meteorológicos o parámetros físicos se considera la temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y humedad relativa.

Por otro lado, un confort que ofrezca calidad al interior de la vivienda está relacionado con cuatro factores como indica Bustillos (2017). Estos aspectos,

según Calusen y Wyon (2008) y Lai et al (2009), consultado por Bustillos (2017), son el confort higrotérmico, calidad del aire interior, confort visual y confort auditivos. De estos, como indica el autor citado, el confort higrotérmico es el aspecto predominante.

Figura 31

Casa caliente con invernadero adosado, claraboyas y aislamiento de las paredes.



Nota. Tomado de Bustillos (2020).

Velocidad del aire (V_a). Según el estándar 55 de la ASHRAE-2013 la Velocidad del aire se define como la tasa de movimiento del aire en un punto. Esta variable se debe medir debido a que puede enfriar el ambiente. De acuerdo a esta norma, si la velocidad al interior de la vivienda es superior a 1,2 m/s provoca incomformidad térmica, por lo que se recomienda que debe estar entre 0,3 y 1,2m/s para generar confort térmico.

Temperatura del aire ($T^{\circ}\text{C}$). De acuerdo al informe de la OMS de 1987, la exposición a temperaturas excesivamente bajas al interior de una vivienda puede ocasionar:

- Temperatura por debajo de 5°C : Riesgo de hipotermia.
- Temperatura por debajo de 12°C : Problemas circulatorios
- Temperatura por debajo de 16°C : Problemas respiratorios.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado el 20 de julio de 2007 por Real Decreto N° 1027/2007 de España, actualizada al 2021,

es una norma que establece las condiciones que deben cumplir las edificaciones para ofrecer bienestar térmico, higiene entre otros. El RITE, respecto de las condiciones interiores, indica que la temperatura operativa y la humedad relativa para una persona con actividad metabólica sedentaria de 1.2 met (1 met = 58.15 w/m² de superficie del cuerpo), con una vestimenta de 0.5 clo de vestimenta en verano y un (clo) en la estación de invierno (1 clo = 0.155 m²°C/W, una persona desnuda tiene un clo de 0.0) y, con un porcentaje de perdonas insatisfechas (PPD) entre 10% y 15%, debe ser los presentados en la tabla 773553. Para valores diferentes a los descritos se aplica lo indicado en la norma ENE ISO 7730.

Tabla 2

Temperatura de confort según RITE

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad Relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Nota. Tomado de RITE, Real Decreto N° 1027/2007.

Las normas técnicas internacionales (EN 15251, ASHRAE 55, ISO 7730) tienen algunas precisiones. Para la norma NTC 5316 (Norma Técnica Colombiana), la temperatura propicia para generar confort térmico está en el rango de 22.5°C y 26°C en tanto en invierno como en verano. Por su parte, la norma UNE-EN ISO 7730, establece el rango de 21.5°C a 26.5°C.

Tabla 3

Resumen de temperatura de confort según diferentes normas

Estación	Norma		
	RITE	NTC 5316	ISO 7730
Verano	23°C – 25°C	22.5°C – 26°C	21.5°C – 26.5°C
Invierno	21°C – 23°C	22.5°C – 26°C	21.5°C – 26.5°C

Humedad relativa del aire (HR%). Es la concentración de vapor de agua en la temperatura existente. La HR está expresada en el porcentaje de agua contenida en el aire, si este valor es alto puede afectar la sensación térmica de un espacio, y

si es muy bajo el organismo también responde negativamente (Simancas, 2003). Según la ‘Guía fácil de la energía solar pasiva’ elaborada en México, el aire seco absorbe la humedad y enfría el cuerpo; mientras que una humedad relativa del aire, favorable para el cuerpo, es la que se ubica entre 30 a 40% como mínimo y 60 a 70% como máximo (Anderson, 1984).

De acuerdo al numeral 5.35 del Glosario de la Norma EM.110, se define a la Humedad Relativa (HR) como “el porcentaje de agua contenida en una masa de aire, relacionado con la máxima humedad absoluta que podría admitir, sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Se expresa en porcentaje (%)”. Por su parte, el estándar 55 de la ASHRAE-2013 (Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado), que define a la HR como la humedad presente en el aire, prescribe una HR de entre 40% y 60% para generar confort térmico en la vivienda.

Figura 32

Variables del confort térmico



Nota. Tomado de Humpiri (2016).

Tabla 4

Resumen de humedad relativa de confort para viviendas según diferentes normas.

Estación	Norma	
	Anderson (1984)	Estándar 55 ASHRAE
Verano	30% - 70%	40% - 60%
Invierno	30% - 70%	40% - 60%

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y MARCO METODOLÓGICO

2.1. Descripción de problema

A nivel nacional, en el Perú, hay poblaciones asentadas en zonas altoandinas a una altitud entre los 3800 y 5000 m.s.n.m., donde la temperatura oscila entre 10°C y -20°C, caracterizando a la zona con vientos gélidos provenientes de los glaciares, y la presencia de fenómenos climatológicos como la granizada, helada, lluvia, friaje y extrema radiación solar (Cisneros, 2016). Uno de estos espacios geográficos es la región altoandina de Puno, ubicada al oeste del lago Titicaca, al sureste del Perú, con 67 000 km² de territorio. Inclusive, hay distritos como Pisacoma o Laraqueri, donde las temperaturas son extremas oscilando entre -5°C y +15°C con radiaciones solares de 6 kWh/ (m² día) en época de invierno (Saavedra, 2014). Entre los meses de mayo y setiembre, en horas de la madrugada, se registran temperaturas de -5 °C según el SENAMHI. Este friaje afecta afectan considerablemente la salud de los niños, sobre todo a quienes tiene menos de 5 años de edad y a los adultos mayores, la población vulnerable a adquirir neumonía e infecciones respiratorias agudas.

Para combatir y convivir con este clima, los primeros pobladores del altiplano puneño-peruano, que arribaron hacia 10,000 a. C., como los Arawaks (Loayza, 1972; Vilca-Apaza, Bermejo-Paredes y Sardón, 2021) quienes dieron origen a las primeras civilizaciones del Altiplano como Tiwanaku y Pukara (Palao, 2005; Vilca, Yapuchura, Mamani y Sardón, 2018), diseñaron y construyeron las primeras viviendas con material de la zona como adobe, piedra, palo, paja (ichu) y pieles de animales que aún perviven en la actualidad, en pleno siglo XXI. A estas tecnologías ancestrales, se han incorporado algunas tecnologías modernas como la calamina, el ladrillo, el hormigón y el cemento esencialmente, y realizado pocas modificaciones, pero la unidad familiar es la misma de hace muchos siglos y aún presentan déficit de confort térmico.

El fenómeno del friaje es cíclico y causa no sólo la emigración de los pobladores hacia regiones cálidas, sino que trae consigo consecuencias sociales anualmente notorias como las IRAs (Infecciones Respiratorias Agudas) que representan el 24,9 % del total de las causas de atención en el Perú y el 12,1 % del total de muertes

(Minsa, 2014). Cuando la vivienda tiene las condiciones es un espacio favorable para preservar la salud y favorecer el don creador y capacidad de aprender (Flores, 2017); sin embargo, los niños y adultos se encuentran vulnerables al habitar en viviendas precarias que no ofrecen las condiciones de habitabilidad en las viviendas altoandinas. Para mejorar estas condiciones, se han desarrollado las denominadas “casas calientes”.

Sin embargo, a más de 10 años de implementación de las casas calientes y denominaciones similares a fin de atenuar sus efectos y así mejorar las condiciones de vida de los pobladores de las zonas altoandinas, cabe preguntarse si ¿estas casas habrán logrado mejorar dicha condición de vida de los pobladores o forman parte del conjunto de políticas paliativas?, porque si bien es importante dotar con una vivienda con confort térmico es fundamental también proveer al poblador de mejores condiciones de vida en sus viviendas, que sean acogedoras, donde puedan desarrollar sus actividades cotidianas en la comodidad del hogar, es decir, sean habitables y no continúen siendo viviendas de condiciones subestándar.

Estas casas calientes tienen errores, de acuerdo a Rodríguez Larraín, citado por Cisneros (2016), quien indica que térmicamente no funcionan, puesto que las casas nuevas son más frías que los cuartos antiguos, bloquearon la ganancia de calor por radiación solar colocando los techos con aislamiento de tecnopor, haciendo que no sea replicable por los pobladores, algunas viviendas se hicieron con adobe suelto y pesado sin amarre a la estructura que genera peligro para los habitantes en caso de sismo. Por otro lado, estas casitas calientes, con el paso del tiempo, quedan deshabilitadas debido a la falta de mantenimiento y uso inadecuado (Abanto y Montenegro, 2016).

Las experiencias desarrolladas aún no son suficientes puesto que no cumplen las expectativas de las nuevas generaciones habitantes en las zonas rurales de la región Puno, las ideas de solución arriba mencionadas se apartan de la evolución en materia constructiva como digna y moderna, es decir, además de confort, buscan construcciones acordes a la evolución constructiva de las viviendas de dos niveles y ya no de un solo nivel o simple como los proyectos que se vinieron desarrollando.

En base al análisis anterior, se desea estudiar y proponer viviendas calientes pero también sostenibles en el tiempo, es decir duraderos, útiles y dignas acorde a las necesidades y exigencias de la modernidad, a los avances de la tecnología, deben evidenciar la modernidad pero siempre dentro del enfoque de la sostenibilidad ambiental, es por ello que se propone diseñar un módulo de vivienda rural bioclimatizado de doble nivel, empleando material de la zona como adobe ecológico cuya vigencia ante un escenario de contaminación y deterioro del medio ambiente ratifica su empleo o vigencia en pleno siglo XXI. Puesto que la (OMS) organización mundial de la salud, indica que 6.5 millones de muerte por año a causa de la contaminación de la atmósfera, cifra que contribuye al 11.6 % de muertes a nivel mundial, según el informe titulado ‘¡No contamines mi futuro!, la OMS precisa que a causa de los gases peligrosos como NO₂, SO₂, CO , O₃, PM_{2.5}, PM₁₀, mueren 570,000 niños menores de 5 años, que esto a su vez tiene efectos como la traqueítis, bronquitis, neumonía, mareos, asma, dolor de cabeza, lluvia ácida, inconsciencia, leucemia, diabetes, etc. (HISPANTV, 2018). Por otro lado, existe la necesidad de construir viviendas más durables y seguras; esto se puede solucionar con nuevos materiales convencionales, pero ello debe incorporar energía proporcionada a sus posibles ventajas (Vásquez, 2000).

El módulo de vivienda rural bioclimatizado se diseña a partir de las casas de adobe y material noble de dos niveles que existen en todo el Altiplano peruano. Se parte de la premisa de que estas casas de dos niveles presentan algunas desventajas como ventanas pequeñas que, si bien evitan el impacto de las bajas temperaturas, la torna oscura, con poca iluminación y por ende frígida y melancólica, y con bajo confort térmico que la hacen poco habitable. Las casas de material noble que existen presentan ventanas amplias y por lo mismo son frías. Además, estas viviendas de dos pisos no cuentan con la orientación adecuada ocasionando patologías como humedades y enmohecimientos; no tiene un diseño sismorresistente lo que les hace vulnerables a cualquier evento sísmico, menos tiene un sistema y diseño que favorezca al confort térmico. Es por ello que se plantea una vivienda que mayor iluminación, comodidad, confort térmico, etc.

Por lo dicho, en la presente investigación se propone como problema general: ¿Es eficaz el Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado para mejorar el confort térmico para el Poblador de la Zona Altoandina de Puno, 2021? Asimismo, se

plantea como problemas específicos: ¿Cuáles serán los criterios arquitectónicos para diseñar el módulo de vivienda rural bioclimatizado? ¿Cuáles son las características del sistema solar pasivo (invernadero) para lograr un confort térmico óptimo? ¿Cuáles son las propiedades del adobe para diseñar un módulo de vivienda rural bioclimatizado? ¿Qué se logrará con el estudio de suelos para el módulo de vivienda rural bioclimatizado? ¿Qué se logrará con la evaluación del diseño estructural del módulo de vivienda rural bioclimatizado? ¿Qué permite determinar los parámetros bioclimáticos: temperatura y humedad relativa en la maqueta del módulo de vivienda rural bioclimatizado a esc. 1:10?

2.2. Objetivo de la investigación

Determinar si es eficaz el Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado para mejorar el confort térmico para el Poblador de la Zona Altoandina de Puno, 2021.

Los objetivos específicos fueron:

- Determinar los criterios arquitectónicos para diseñar el módulo de vivienda rural bioclimatizado.
- Determinar las características del sistema solar pasivo (invernadero) para lograr un confort térmico óptimo.
- Determinar las propiedades del material adobe para diseñar el módulo de vivienda rural bioclimatizado.
- Determinar las características físicas del suelo de cimentación.
- Evaluar el diseño estructural del módulo de vivienda rural bioclimatizado.
- Elaborar una maqueta a escala 1/10 del módulo de vivienda rural bioclimatizado para la medición de los parámetros bioclimáticos: temperatura y humedad relativa.

2.3. Método, diseño y tipo de investigación

El tipo de investigación corresponde al experimental, debido a que se manipulará la variable Módulo de vivienda rural bioclimatizado cuyos efectos se medirán en la variable dependiente Confort térmico.

El diseño de investigación corresponde al cuasi-experimental, al subdiseño de dos grupos con un grupo control (casa típica del lugar) y un grupo experimental

(un módulo de vivienda y una maqueta a escala) (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

La investigación corresponde el nivel de investigación aplicada, debido a que aplicará los conocimientos ya desarrollados en otras ciencias.

La investigación corresponde al enfoque cuantitativo, puesto que el estudio recogerá datos con las cuales será posible la observación de las variables.

2.4. Variables de investigación

Considerando que una variable es una cualidad, característica cuyo cambio es susceptible de ser medido y observado (Hernández, Fernández & Baptista, 2014), las variables del estudio son:

Variable dependiente : Confort térmico

Variable independiente: Módulo de vivienda rural bioclimatizado

Tabla 3

Matriz de consistencia

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGIA
Diseño del módulo de vivienda rural bioclimatizado	Es un sistema de captación de rayos solares que incluyen una correcta tecnología solar pasiva y adobe que mantenga el entorno de una vivienda a una temperatura agradable, por medio de la radiación solar recibida durante el día - año.	Aquel sistema que incluye el modelado y una correcta selección de tecnología solar pasiva, que genera un ambiente interior con una temperatura agradable, por medio de la radiación solar durante todos los días, materiales de la zona (adobe), orientación de la vivienda respecto al Sol.	* Sistema solar pasivo (invernadero)	* Orientación de invernaderos * Número de invernaderos * Dimensiones del invernadero * Número y dimensiones de ventanas	* metros * punto cardinal	Tipo de investigación: EXPERIMENTAL Nivel de investigación: APLICADA
			* Material: adobe	* Dimensiones en (m) * Límites de Consistencia (%) * Ensayo de succión (gr/200cm ² min) * Resistencia a la flexión (kg/cm ²)	* metros * porcentaje * gr/200cm ² min * kg/cm ²	Enfoque: CUANTITATIVO Diseño de investigación: CUASI-EXPERIMENTAL Población: VIVIENDAS QUE SE PUEDAN CONSTRUIR
			* Diseño arquitectónico * Diseño estructural y sismoresistente	* Planos arquitectónicos (orientación de la vivienda) * Planos estructurales	* escala	Muestreo: NO PROBABILÍSTICO
Confort térmico del módulo	Se refiere a las condiciones de bienestar del individuo desde su relación con las condiciones de temperatura y humedad en un lugar determinado	Son las condiciones de bienestar del individuo con las condiciones de sensación de temperatura del aire (estado térmico del aire a la sombra) y sensación de humedad relativa (porcentaje de agua contenida en el aire) en un ambiente cerrado.	* Medición de parámetros bioclimáticos internos.	* Maqueta del módulo a esc: 1:10 * Temperatura de confort: 21.5°C - 26.5°C (ISO 7730) * Porcentaje de Humedad Relativa de confort en los ambientes: 30/40%-60/70% (Estándar 55 ASHRAE)	* grados centígrados * porcentual	Muestra: UNA VIVIENDA PREEXISTENTE Y UNA MAQUETA Técnica: ENSAYO DE LABORATORIO Instrumento de investigación: FICHA TÉCNICA Fichas de recopilación: FICHAS DE LABORATORIO

2.5. Población y muestra

2.5.1. Población

La población es un grupo total de elementos con características similares a los que se quiere realizar la investigación por medio de la aplicación de técnicas de recojo de datos (Hernández, Fernández & Baptista, 2014). La población de estudio estuvo conformada por el conjunto de modelos de vivienda rural bioclimatizado a base de adobe y estrategia solar pasiva que se puedan construir en la región Puno o para zonas cuya altitud sea superior a 3800 m.s.n.m. La región de Puno cuenta con una temperatura media anual que oscila entre 2°C a 15°C y altitudes que bordean los 3812 m.s.n.m. y una precipitación pluvial promedio anual de 853 mm. La población rural está dedicada principalmente a actividades agropecuarias con presencia de vivienda vernácula y moderna.

Criterios de inclusión: se considera la vivienda rural bioclimatizada que está ubicada por encima de los 3810 m.s.n.m. y construida con sistema solar pasivo.

Criterios de exclusión: se excluyen las viviendas rurales que no están construidas con el sistema solar pasivo, por lo que no conforman la población.

2.5.2. Muestra

La muestra es el subconjunto representativo de la población, al respecto, Cabezas, Andrade y Torres (2018) indican que la muestra es una porción representativa de la población. De acuerdo a lo anterior, la muestra estuvo constituida por una maqueta del módulo de vivienda rural bioclimatizado elaborado a esc.1:10 que será el grupo experimental y una vivienda rural típica existente en el distrito de Pichacani, provincia y, departamento de Puno que será asignada como grupo control, los que permitirán la obtención de datos y contraste de los mismos.

El muestreo probabilístico consiste en seleccionar elementos de una unidad al azar, en tanto, el no probabilístico es elegir dichos elementos en función del interés del investigador (Charaja, 2019). Para determinar la muestra de estudio, se aplicó el muestreo no probabilístico opinático e intencional (Ñaupas et al., 2018), siendo el motivo que prima el objetivo de la investigación.

2.6. Técnicas e instrumentos de investigación

2.6.1. Técnicas

Aplicación de Software. Los softwares que se emplearon son Revit y Autocad (v. 2017) para el diseño arquitectónico (planos) del módulo VRB.

Observación. Esta técnica se empleó para determinar las características del sistema solar pasivo (invernadero) como: orientación, número de invernaderos, dimensiones y número de ventanas.

2.6.2. Instrumentos de recolección de datos

Fichas técnicas de ensayo de laboratorio: Las fichas técnicas son formatos en los que se registrarán los datos obtenidos en laboratorio.

Termómetro digital: este instrumento se utilizó para medir la temperatura al interior de la maqueta y al interior de la vivienda rural típica.

Higrómetro digital: Instrumento que se utilizó para medir la humedad relativa en la vivienda y en la maqueta

2.6.3. Ensayos de laboratorio

Para determinar las características térmicas del adobe se emplearon los siguientes ensayos:

- Ensayos para determinar las características físicas y mecánicas del adobe.
- Ensayo para determinar el calor específico, conductividad térmica del adobe.
- Ensayo DPL para determinar la capacidad portante del suelo de fundación.

Para determinar los parámetros bioclimáticos en la maqueta se realizó las mediciones de temperatura y humedad relativa.

2.6.1. Validez

Los instrumentos de recolección de datos no fueron diseñados por los investigadores del presente estudio. Las fichas o formatos de laboratorio que se emplearon en la investigación son instrumentos estandarizados por norma y empleados recurrentemente en los estudios de laboratorio.

2.6.2. Confiabilidad

El proyecto fue sometido a software anti plagios como el turnitin que emplea la Universidad evaluadora.

2.7. Procedimientos de investigación

Los procedimientos empleados para la obtención de datos serán los siguientes:

- Se aplicará el análisis paramétrico para la recopilación de información necesaria a través de pruebas en campo como la recopilación de datos del lugar de estudio, tomas fotográficas del lugar.
- Se empleará el Trabajo de gabinete para procesar la información recogida en campo, a fin de diseñar el modelo de vivienda.
- Registro de temperatura y humedad relativa de dos viviendas rurales actuales en el distrito de Pichacani.
- Solicitud de permiso al propietario de la vivienda rural típica ubicado en el distrito de Pichacani, región Puno.
- Diseño y construcción del módulo de vivienda rural bioclimatizado.
- Determinar la conductividad térmica (K) del adobe para ser incorporado en el diseño del módulo.
- Evaluación del confort térmico del módulo con la utilización de instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa.
- Análisis e interpretación de datos para determinar la prueba de hipótesis

2.7.1. Método de análisis de datos

El análisis de datos en el presente estudio se realizará empleando los siguientes estadígrafos descriptivos: tablas estadísticas, gráficos y figuras. Los resultados obtenidos en el estudio serán analizados siguiendo el diseño de investigación y contrastadas con los antecedentes de la investigación y con las normas del reglamento nacional de construcciones como: RNE Norma A.020, Capítulo III, características de las viviendas, artículo 18, indica “De preferencia el aislamiento térmico de transmisión térmica K del cerramiento no será superior a 1.20 w/m² °C”. La norma EM.110 es la que regula los lineamientos técnicos para el cálculo del “Confort térmico y lumínico con eficiencia energética” considerando la zona ha de ubicarse la construcción.

2.8. Consideraciones éticas

La presente investigación se realizará bajo las normas éticas establecidas por la Universidad Cesar Vallejo y el Código de ética para la Investigación Científica del CONCYTEC, así como por normas internacionales como el Protocolo de Helsinki (1964) que regula la investigación en seres humanos.

El estudio respeta la producción intelectual y derechos intelectuales mediante el empleo adecuado de citas y referencias según estilo ISO 690 y 690-2 de la International Organization for Standardization (ISO).

CAPÍTULO III

EXPOSICIÓN DE RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

3.1. Exposición resultados

En el presente capítulo se presenta los resultados de la investigación en respuesta a los objetivos específicos y objetivo general trazados en torno al diseño del Módulo de VRB y el confort térmico.

3.1.1. Objetivo específico 1: resultados del diseño arquitectónico

La aplicación de criterios arquitectónico es fundamental para diseñar viviendas calientes o bioclimatizadas. En la presente investigación, a fin de cumplir con el objetivo específico de Determinar los criterios arquitectónicos a aplicarse en el diseño del módulo de vivienda rural bioclimatizado para alcanzar un confort térmico óptimo, se ha seguido el siguiente procedimiento.

Análisis de la composición familiar

El análisis de las necesidades permitió determinar quiénes serán los beneficiarios de la vivienda y qué ambientes y/o espacios son necesarios incluir en la misma, la distribución de las mismas en función de las actividades que dentro de ella se desarrollan. Mediante el análisis se determinó cuántos son los integrantes de una familia tipo en la Comunidad de Viluyo, distrito de Pichacani, provincia de Puno, región Puno.

a) Número total de viviendas. Según el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú), el número total de viviendas identificadas y ocupadas en la Comunidad de Viluyo es de 101 en total.

b) Número total de habitantes. Según el INEI, el CPM de Viluyo registra un total 172 habitantes, 76 varones y 96 mujeres. El distrito de Pichacani cuenta con 6134 pobladores en total, al año 2022.

Tabla 5

Número de habitantes del distrito de Pichacani, Puno - 2022

Región	Provincia	Distrito	Población al 2022
Puno	Puno	Pichacani	6 134
TOTAL			6 134

Nota. Tomado de INEI -Censo 2017.

Según el Censo – 2017, la población del distrito de Pichacani de la provincia de Puno, ascendía a 6 134 habitantes entre hombres y mujeres.

c) Número total de familias. Los habitantes de Viluyo, de acuerdo al diagnóstico realizado en el 2022, están agrupados en aproximadamente 100 familias, distribuidos en toda la comunidad. Cada familia, tiene entre dos a tres integrantes. La principal dedicación de las familias es la ganadería, fundamentalmente, y la agricultura.

d) Densidad poblacional. Dividida el número de habitantes entre el área total del terreno de la comunidad, se tiene una densidad poblacional de 3.76 hab/km².

Determinación del tipo de vivienda

La zona de intervención se caracteriza por presentar las siguientes tipologías de vivienda:

Vivienda Tipo I: Esta vivienda comprende a aquella construida por Cimiento de piedra con mortero de barro, muro de adobes y techo de paja y chilliwa. Son las viviendas típicas y ancestrales del lugar de estudio.

Vivienda Tipo II: Construidas con Cimiento y sobrecimiento de barro con mortero de barro, muro de adobes y techo de calamina. Este es un tipo de vivienda más reciente que el Tipo I.

Vivienda Tipo III: Son las viviendas más modernas que existen en el lugar de estudio. Están conformadas por Cimiento de concreto ciclópeo, muros de ladrillo artesanal o industrial/bloqueta de arena y cemento, losa y techo de calamina. Estas viviendas son las más modernas que se pueden apreciar en la zona de estudio. Este

tipo de viviendas, en pleno siglo XXI, están reemplazando a las viviendas Tipo I y Tipo II. Son las viviendas que prefieren construir las familias. Esta tendencia es un fenómeno constructivo que se da en todo el altiplano peruano.

En función de estos antecedentes y el clima frígido que resultan negativos para una buena salud, se propone desarrollar un módulo de vivienda rural bioclimatizado de dos niveles con sistema aporticado, empleando para ello, un sistema solar pasivo (invernadero) y materiales de la zona, como el adobe. La ventaja del sistema aporticado es que se pretende diseñar una vivienda que sea sismorresistente, considerando que Puno, y específicamente el lugar de estudio, se encuentran en una zona sísmica de nivel 3 (ver figura 7, 8 y 9). Por su lado, el empleo del adobe, como material de la zona, se debe a sus ventajas térmicas respecto de otros materiales de tabiquería. Entonces, la aplicación de estos dos factores, hará de la vivienda rural, un espacio seguro, moderno y con confort térmico.

Es necesario, sin embargo, analizar los siguientes aspectos: De acuerdo al artículo 4 de la Norma E.080 no se permiten construcciones de barro o adobe en zonas de alto riesgo de desastre, sobre todo en zonas donde se presenten fenómenos naturales como inundaciones, huaycos entre otros. La región Puno, en su porción andina, es un lugar geográfico ubicada en la zona sísmica 3, de acuerdo a la clasificación sísmica según Norma E.030. esta norma indica que: si se deseara construir, las construcciones de viviendas, además de tierra reforzada, deben ser solo de un piso para las zonas sísmicas 4 y 3, admitiéndose de hasta dos pisos en las zonas 2 y 1.

Sin embargo, consideramos que esta Norma no considera las perspectivas de los pobladores de la zona rural, hoy. La modernidad ha llegado al medio rural, la casa construida con tecnologías modernas es una práctica común. Entonces, para no violar o incumplir las exigencias de la Norma E.080, se plantea diseñar una edificación de dos pisos para la zona sísmica 3 empleando el sistema aporticado.

Figura 33

Zonas sísmicas del Perú



Nota. Tomado de Norma E.030 Diseño sismorresistente.

La región Puno, y específicamente el distrito de Pichacani, se encuentra, de acuerdo a la Norma E.030 (Diseño Sismorresistente), en la zona sísmica 3. Como bien se sabe, el territorio peruano, tomando el criterio de peligro sísmico, se encuentra dividido en cuatro zonas sísmicas (ver figura 33). La clasificación de estas zonas sísmica obedece a un factor denominado Z, que es entendida como “la aceleración máxima horizontal en suelo rígido” la misma que tiene una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años.

Considerando el anexo II de la Norma E.030 (Diseño Sismorresistente) de zonificación sísmica ubica al distrito de Pichacani en la Zona Sísmica 3, corresponde diseñar una vivienda que sea sísmicamente resistente. De esta

manera se demuestra que es pertinente diseñar un módulo de vivienda rural bioclimatizado aporcado para que sea sísmicamente resistente y el uso de adobe con material de la zona para que sea cálida.

Determinación de necesidades y ambientes

En el 2014, Chaiña Flores desarrolló una propuesta de vivienda rural saludable en el distrito altoandino de Pilcuyo, provincia de El Collo, región Puno. En este estudio, el investigador, identificó que la unidad habitacional rural está destinada simultáneamente a varios usos. Es siempre un ambiente rectangular, y este sirve a la vez como dormitorio, comedor, cocina y despensa. Además, identificó que estas viviendas no cuentan con una adecuada iluminación y ventilación. De similar manera, las unidades familiares del distrito de Viluyo constan de una vivienda rectangular destinado a usos múltiples y simultáneos, haciendo que las familias no tengan calidad de vida. Por esa razón, en el presente estudio, se busca diseñar una vivienda que además de seguro, caliente, iluminada, cuenten con los ambientes mínimos y necesarios para que los integrantes de la familia puedan satisfacer sus necesidades en el marco de la dignidad

De igual manera, Nativio Acero, en el 2016, identificó que los pobladores del medio rural del distrito de Pilcuyo, El Collao, Puno solo cuentan con una sola habitación que alberga a tres a cuatro miembros, el diseño de esta vivienda no considera el confort térmico, permitiendo filtraciones de aire frío y puentes térmicos en puertas, ventanas y techo.

Es importante dotar de los ambientes necesarios a la vivienda rural. Si el Estado va a apoyar con viviendas cálidas, estas deben permitir que las familias cuenten con los ambientes necesarios y suficientes para que pueda realizar sus actividades en comodidad, es decir, garantizarle calidad de vida. No basta el confort sino la comodidad en el marco de los que prescribe el artículo 1 de la Constitución Política del Estado peruano.

De acuerdo a lo anterior, fue primordial el diagnóstico de las necesidades básicas que un poblador tiene. Estos se visualizan en la tabla 6.

Tabla 6*Determinación de necesidades*

ZONA	NECESIDAD	AMBIENTE	Nº	USUARIO	OBS.
ZONA ÍNTIMA	Descansar durante la noche	Dormitorio	2	Padres Hijos	
ZONA SOCIAL	Preparación de alimentos	Cocina	1	Familia (padre, madre e hijo)	
	Guardar alimentos	Cocina	1	Familia	
	Ingesta de alimentos	de comedor	1	Familia	
	Recibir visitas, etc.	Sala	1	Familia + visitantes	
	Desplazarse por la vivienda	Pasadizo	1	Familia	
ZONA DE SERVICIO	Huerto	Invernadero	1	Familia	
	Servicios higiénicos	SS.HH.	1	Familia	Ejecutado por MIV
	Dispensa	Almacén	1	Familia	Casa aparte

Diagrama de correlaciones

Mediante el diagrama de correlaciones se determinó las relaciones primarias y secundarias que se presentan entre los ambientes del Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado.

Figura 34

Diagrama de correlaciones con fines de determinar conexiones entre ambientes



Criterios arquitectónicos considerados para el confort térmico

Ubicación del Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado:

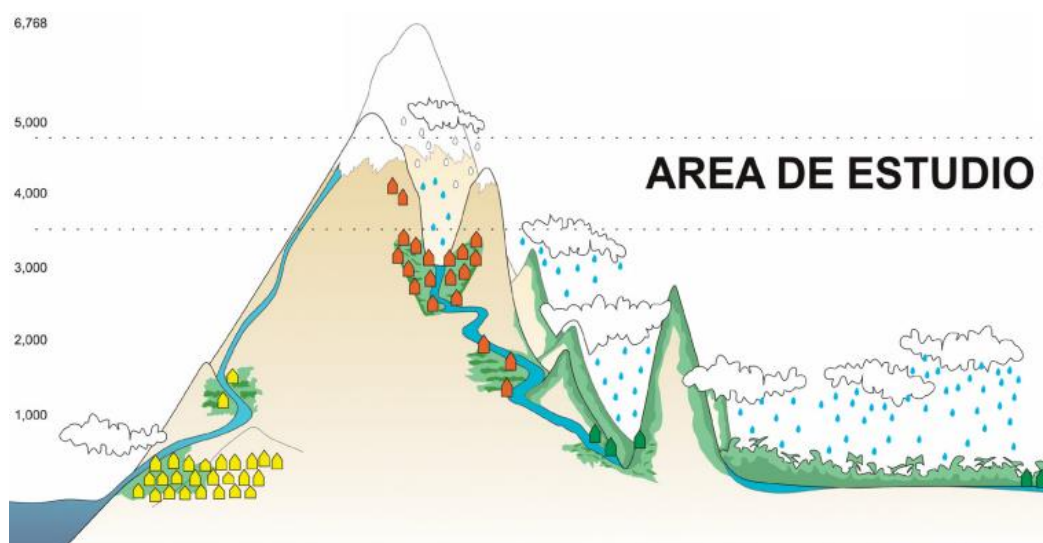
Figura 35

Plano de localización del Módulo de VRB, Viluyo, Puno, Perú.



Figura 36

Corte transversal del Perú indicando la zona y altitud de estudio



Nota. Elaborado con base a Moncloa Guardia (2017). Confort Térmico: Un sistema aislante para la vivienda alto andina.

Una vez determinado las necesidades y localizado el lugar de ejecución del proyecto de Módulo de VRB, se procedió a elegir los criterios arquitectónicos para diseñar el módulo de vivienda rural bioclimatizado.

Criterio 1: Orientación

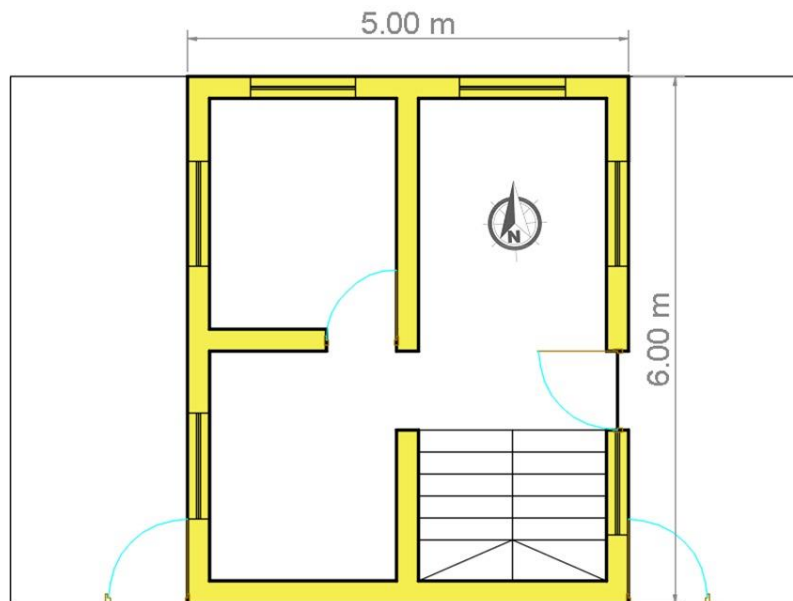
La región Puno se encuentra ubicada en el hemisferio sur, siendo así, sabemos por teoría que las superficies de las viviendas que estén orientadas hacia el norte son las más favorecidas con la incidencia de la radiación solar (Huaylla, 2010). Por esta razón, los ambientes principales se sitúan en la fachada norte a fin de brindarles condiciones confortables, y en la fachada sur están ubicados los ambientes o espacios secundarios como el pasillo y otros. De acuerdo a este criterio arquitectónico, el módulo de VRB tiene el muro de adobe orientado hacia el norte, pues de esta manera se espera aprovechar la mayor energía solar posible, garantizándose confort térmico a la vivienda.

Por su lado, los estudios previos al presente, han demostrado que la mejor orientación es al norte. Por ejemplo, en el año 2012, Miguel Ronald Corrales Picardo demostró a través de su estudio en el que aplicó el sistema solar pasivo en la ciudad

de Huaráz – Perú, llegó a concluir que las edificaciones, para captar mejor la radiación solar, deben orientar sus aperturas en fachadas opuestas con orientación Este-Oeste, donde se obtiene un mejor rendimiento térmico, que cuando se orienta al Norte-Sur.

Figura 37

Orientación en función a los puntos cardinales del Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizada



Nota. Plano de arquitectura.

Criterio 2: Distribución

La distribución es fundamental para la ganancia de confort térmico en los ambientes. En la figura 38 al 41 se muestra la planimetría del primer nivel del módulo de vivienda rural bioclimatizado. Se puede observar que la distribución del primer nivel contiene tres ambientes para atender las necesidades básicas del poblador de la zona altiplánica del medio rural: cocina, comedor y sala. Su ubicación en el primer nivel obedece a criterios de necesidad y frecuencia, es decir, estos ambientes servirán para que el poblador cubra esas necesidades primarias; en tanto, en la segunda planta, están distribuidos los dormitorios I y II.

Siguiendo las sugerencias de Huaylla (2010), la distribución de los ambientes siguió el criterio arquitectónico de mejor eficiencia energética, con la finalidad de ganar mayor potencial de confort térmico. Para ello, los ambientes del primer como la cocina, sala y dormitorio I, se sitúan en el lado norte de la vivienda bioclimatizada a

fin de que ellos sean favorecidos por la energía solar a lo largo del año. Por otro lado, los mismos ambientes y otros como el comedor, se encuentran ubicados, ya sea en este u oeste de la vivienda, a fin de ganar calor por las mañanas y por las tardes a través del sistema solar pasivo.

Los dormitorios se sitúan al lado este para que sean iluminados y calentados en las mañanas por la energía solar. Las escaleras de acceso a la segunda planta están ubicadas en la zona sur, pero también hacia la zona este, viéndose favorecido, como la mayoría d ambientes por el diseño geométrico de la vivienda.

Figura 38

Vista primera planta

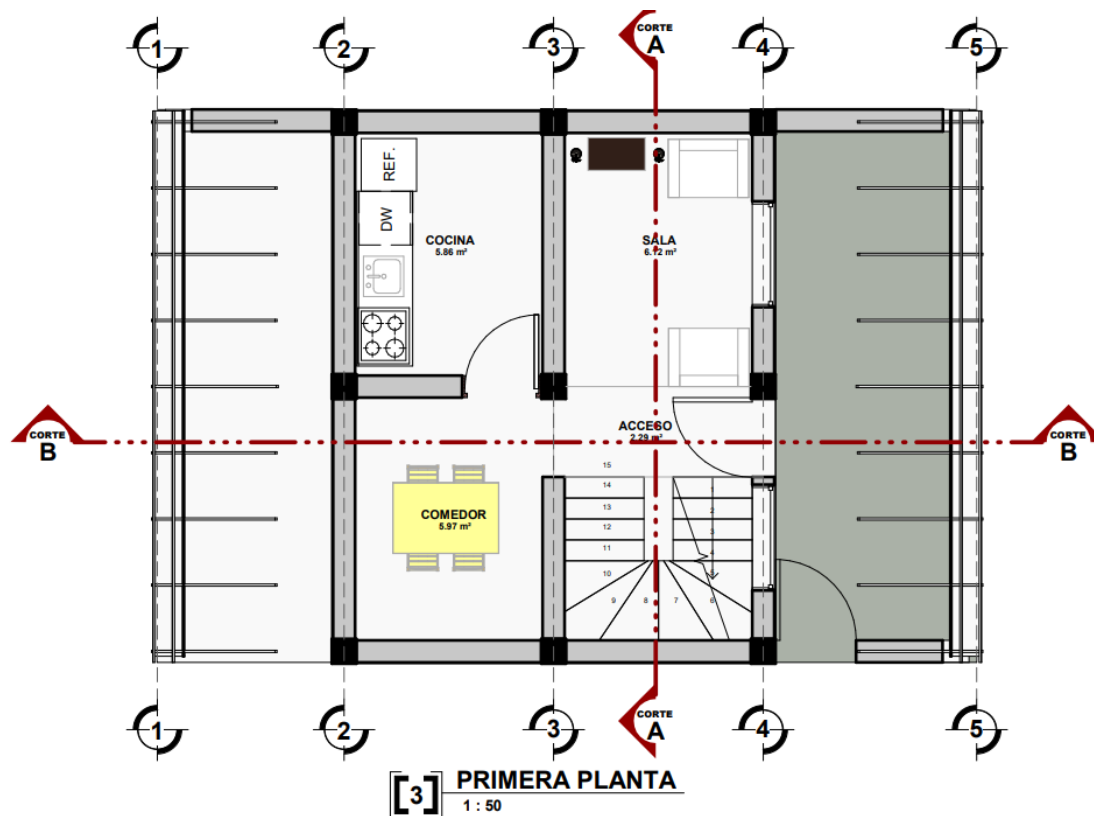


Figura 39

Distribución de ambientes – Primera planta

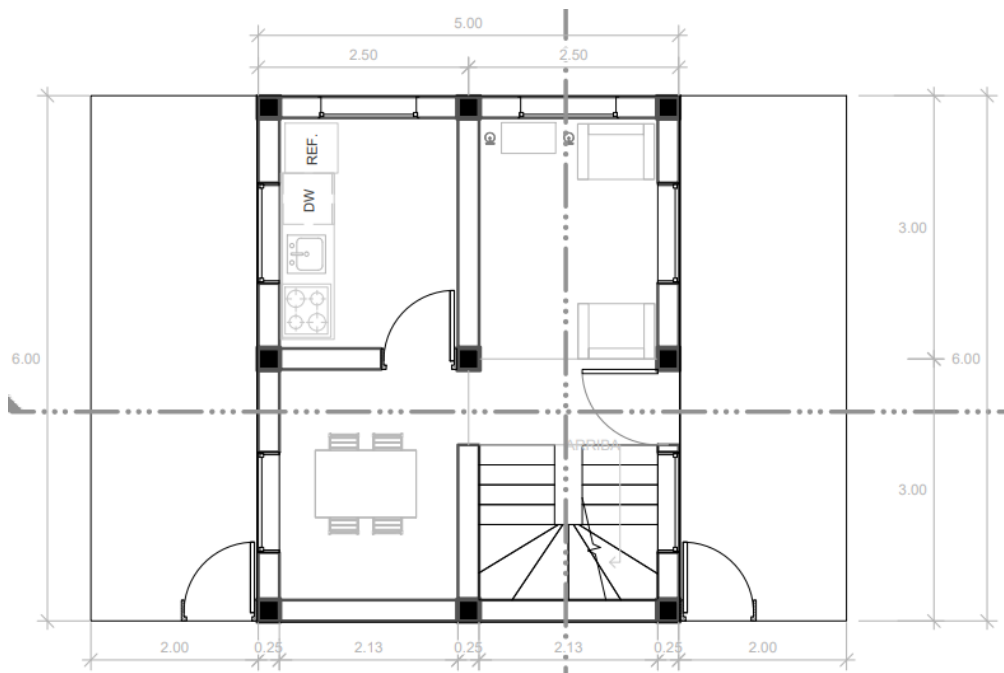


Figura 40

Vista segunda planta



Figura 41

Distribución de ambientes – segunda planta

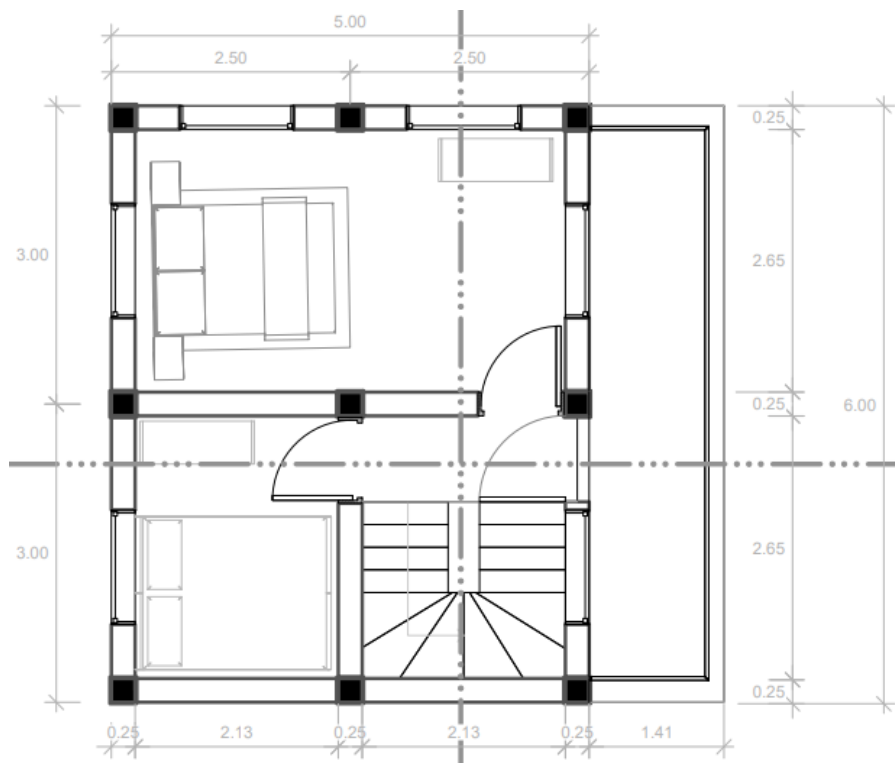
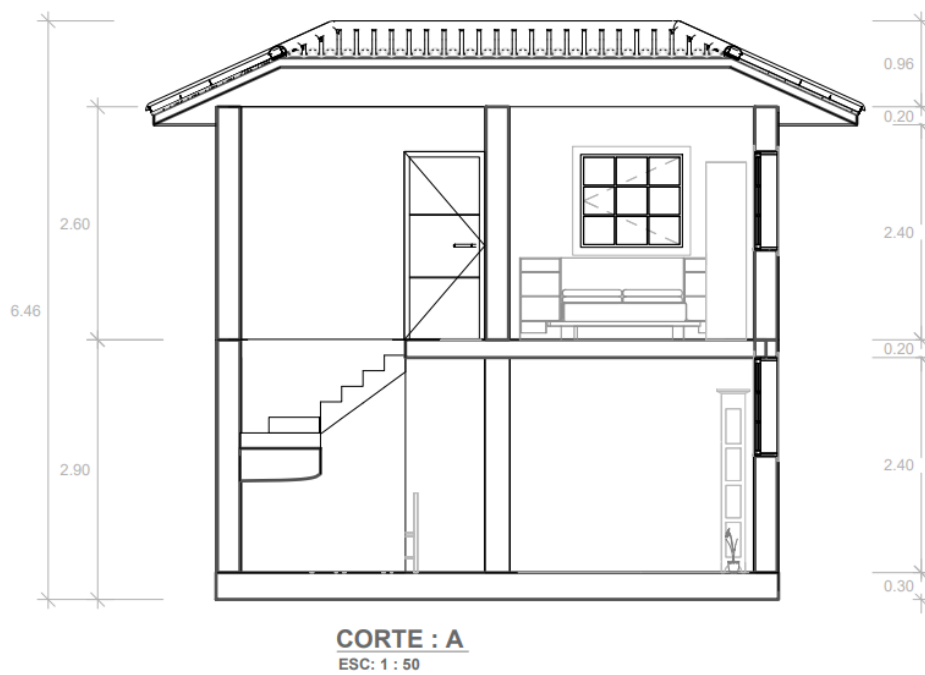


Figura 42

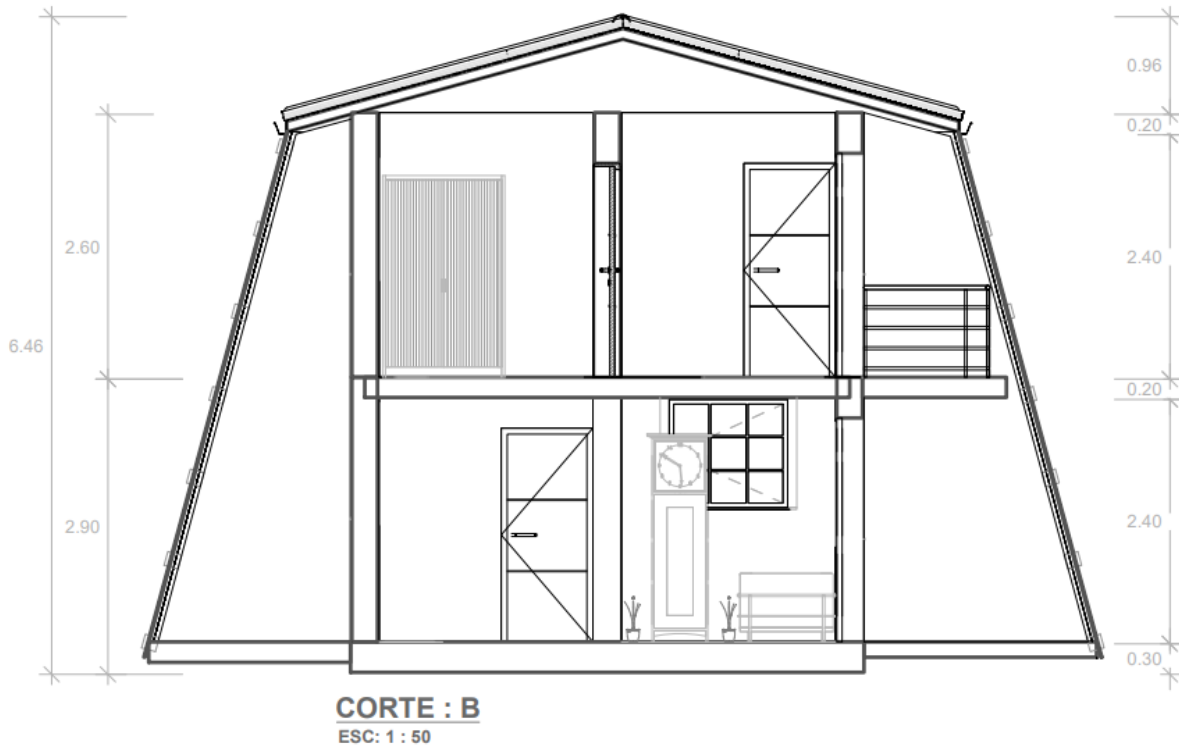
Plano de corte norte-sur, vista interior del módulo VRB



Nota. Plano de arquitectura.

Figura 43

Plano de corte este-oeste, vista interior del módulo VRB



Nota. Plano de arquitectura.

Criterio 3: Geometría

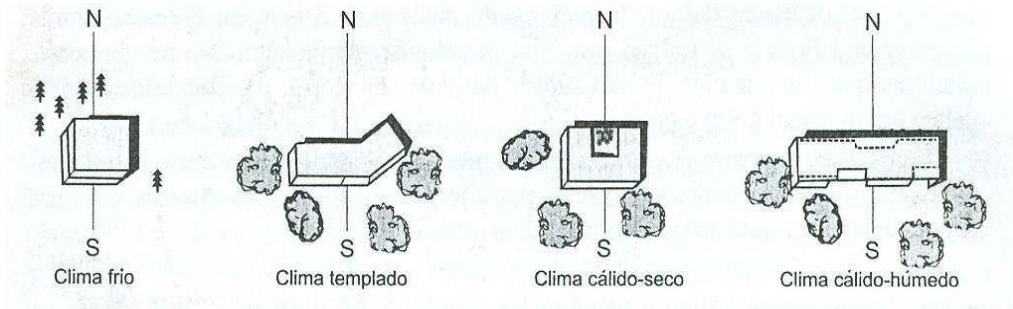
La geometría, en la arquitectura bioclimática indica 'entre más área de contacto con el exterior, mayores serán las ganancias o pérdidas de energía con el exterior', siendo muy perjudicial en climas extremadamente fríos o cálidos, aunque beneficioso para climas templados (Ibáñez, Rossll & Rossell, 2005). Obviamente, en el hemisferio sur, lo recomendable será mayor área de contacto con el exterior para la ganancia solar.

Un criterio a tener en cuenta para diseñar viviendas bioclimáticas es el 'factor de forma' que es lo mismo, relación Área/Volumen. De acuerdo a este criterio, en climas muy cálidos o muy fríos, el 'factor de forma' debe ser. Más específicamente, para climas fríos, como es el caso de Puno, la geometría recomendada es la trapezoidal, es decir, la fachada norte (que deberá ser la más larga) debe recibir la radiación solar y la fachada sur (la más corta) debe ser aislada térmicamente

(Huaylla, 2010). Veamos, en la figura 44, cuál es la geometría más recomendada para climas fríos.

Figura 44

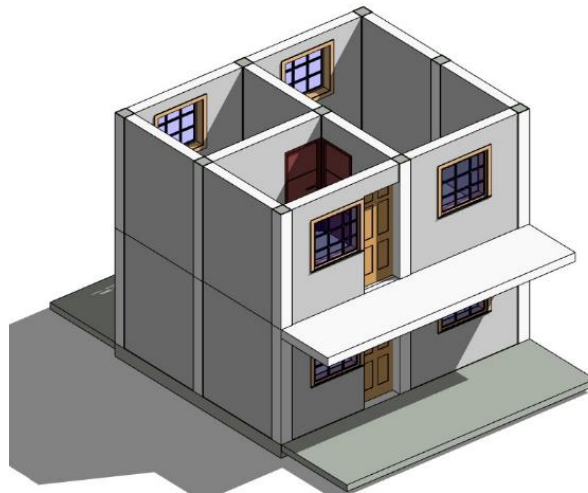
La geometría más adecuada para optimizar el confort térmico, según el tipo de clima



Nota. Tomado de Ibañez et al. (2005).

Figura 45

Diseño geométrico acorde a criterios arquitectónicos



Nota. Planos de arquitectura

El Módulo de VRB se diseñó digitalmente en la herramienta denominada Autodesk Revit, que tiene el conjunto de herramientas para simular un diseño real del Módulo, pues permite considerar los parámetros arquitectónicos y constructivos.

Ventanas

El tamaño y ubicación de las ventanas está relacionado con la ganancia de la energía solar. Según Break Systems S. L. (2014) un tamaño de ventana con un porcentaje aumentado en el muro, aumentará la temperatura al interior de la vivienda durante un día con radiación solar, claro está; sin embargo, durante las horas de la noche, disminuirá la temperatura. El vidrio no es un buen aislante térmico, debido a que su conductividad es solo de $0,8\text{W/m}^{\circ}\text{K}$ (Cortes y Muñoz, 2020).

La vivienda tiene en total 12 ventanas que permiten, no solo el ingreso de luz para una adecuada iluminación, sino para permitir el ingreso de energía solar y al mismo tiempo retenerla para no perder el confort térmico. Para ello se utilizó la técnica de la doble ventana con marco de madera y vidrio de espesor 'simple'.

Puertas

El módulo de VRB cuenta solo con dos puertas en la vivienda ubicadas al este de la misma, y con dos puerta para el ingreso a los invernaderos. Si bien las dimensiones de una puerta tipo es de $2,10 \times 0,8\text{m}$ (Soto Estrada, 2019, citado por Cortes y Muñoz, 2020), en la presente investigación, la puerta está diseñada de madera debido a que ofrece una buena capacidad térmica.

Yeso

El yeso tiene propiedades aislantes que ayudan a mejorar el confort térmico al interior de la vivienda. El yeso tiene la capacidad de disminuir la temperatura operativa en los picos hasta $3,7^{\circ}\text{C}$ y aumentar en los valles hasta $4,6^{\circ}\text{C}$ en comparación a la temperatura interna (Cortes y Muñoz, 2020).

3.1.2. Objetivo específico 2: Resultados del diseño del sistema solar pasivo: invernadero

La determinación del tipo de sistema solar pasivo (invernadero) ha seguido el siguiente procedimiento:

a. Determinación del Número y orientación de invernaderos

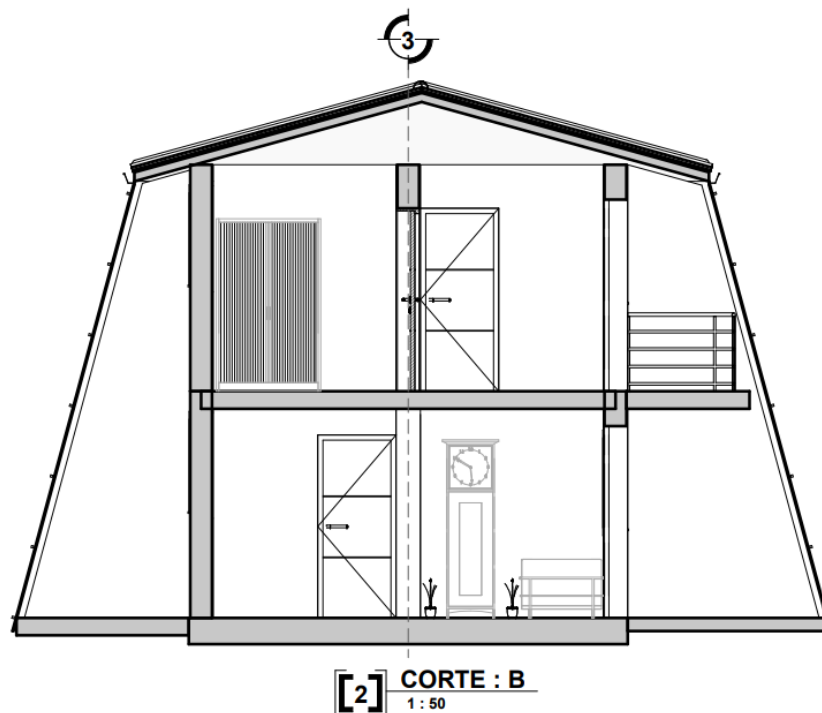
Debido a que la región Puno se ubica en el hemisferio sur del planeta Tierra, y de acuerdo a esta ubicación los primeros rayos solares se perciben desde el este y por el atardecer se captan mejor por el oeste, se ha determinado emplear dos invernaderos: uno en la orientación este y otro en la orientación oeste del módulo

de vivienda rural bioclimatizado. Esta orientación permitirá la captación y almacenamiento de calor que será transferida a los ambientes de la vivienda vía convección. En la figura 46 se aprecia este diseño.

Como se puede observar en la figura 46, el módulo de VRB contará con los invernaderos adosados. Uno de ellos está en la orientación este, para captar los primeros rayos solares y, el otro, en la orientación norte, para aptar los rayos solares por las tardes. Con estos dos invernaderos se garantiza la captación de la radiación solar por las mañanas y por las tardes afín de brindar confort térmico al módulo.

Figura 46

Número y orientación de los invernaderos

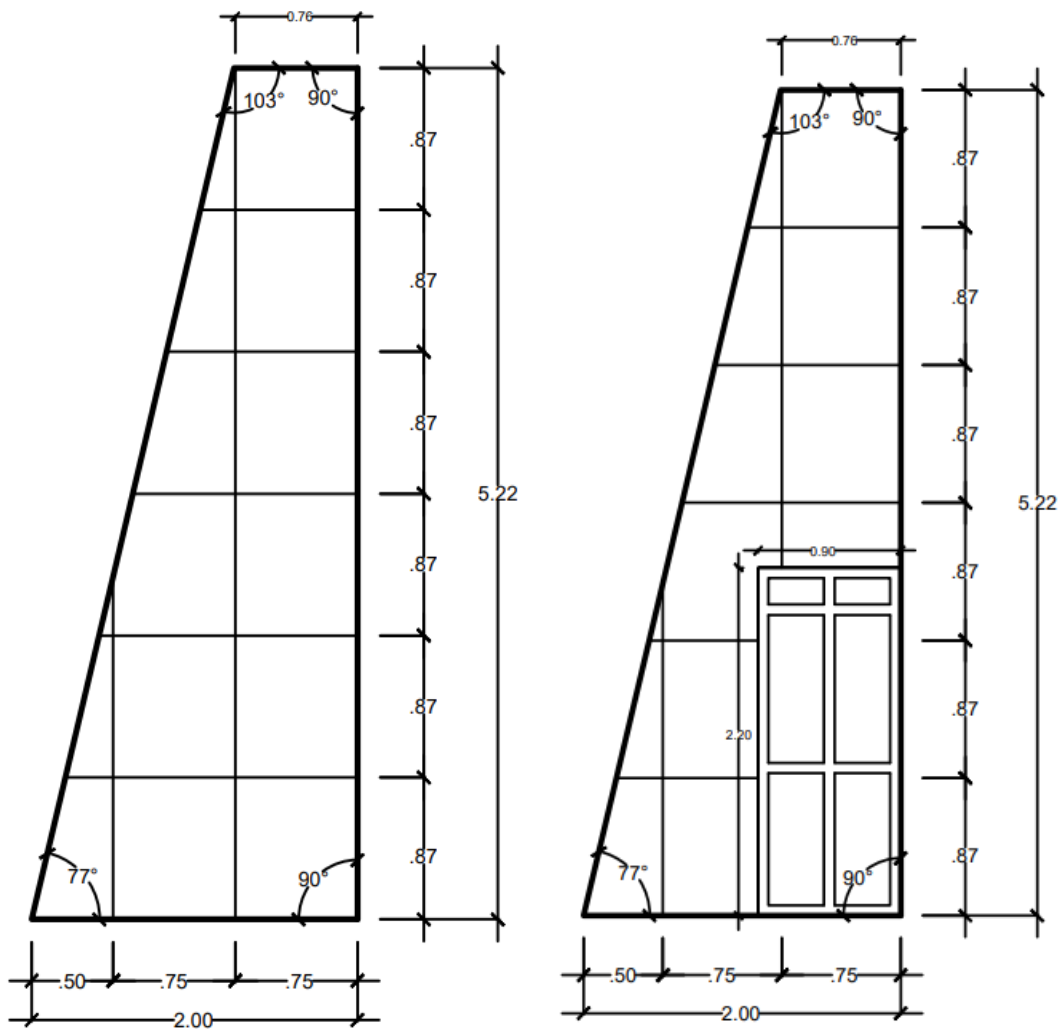


b. Determinación de las dimensiones del invernadero

Como los invernaderos estarán ubicados al este y oeste del módulo de VRB, éstas deben cubrir la mayor área posible de la vivienda a fin de captar la mayor radiación solar, por lo que, el invernadero tiene las dimensiones de la vista frontal y lateral, tal como se puede observar en las figuras 47 y 49. En esta se puede visualizar la ubicación, número y dimensiones de la ventana.

Figura 47

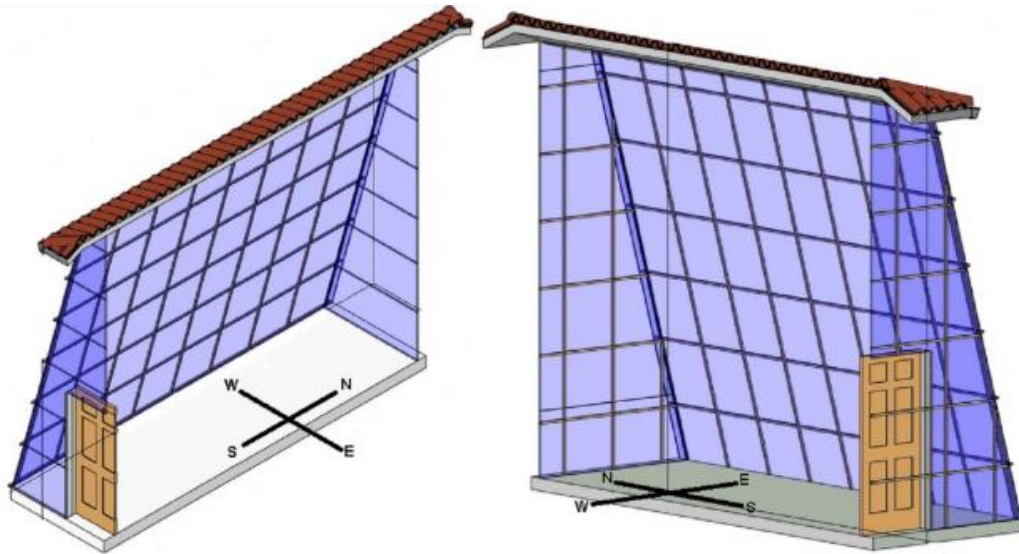
Dimensiones y medidas del invernadero (sistema solar pasivo) – Lateral



Nota. Planos arquitectónicos SSP – 01 – ELEVACIÓN LATERAL

Figura 48

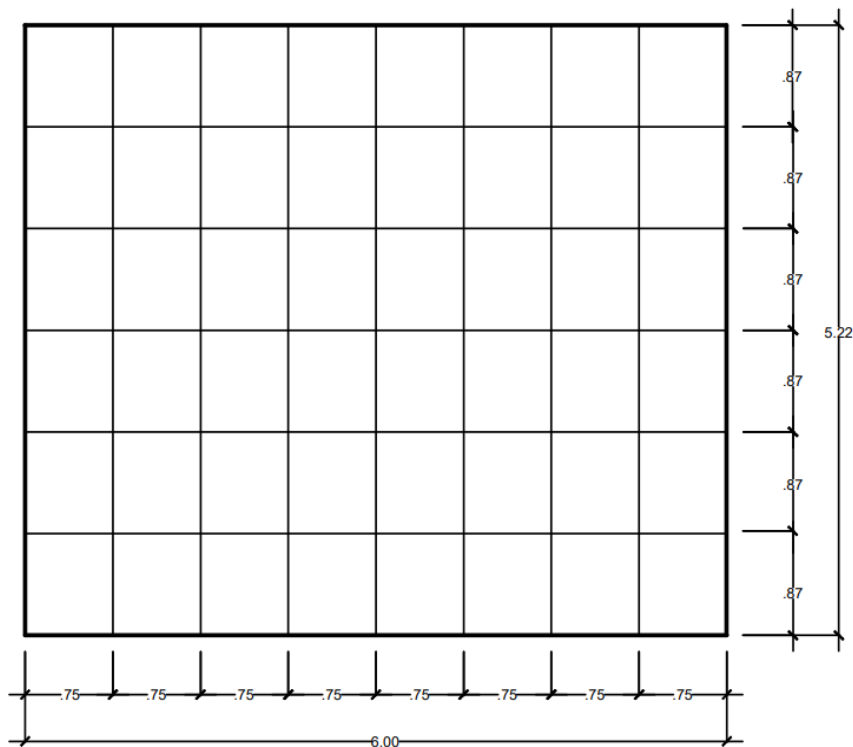
Vista 3D de la Orientación de los invernaderos (Sistema Solar Pasiva). Orientación Este (izquierda) – Orientación Oeste (derecha)



Nota. Planos arquitectónicos SSP – 01 – VISTA 3D

Figura 49

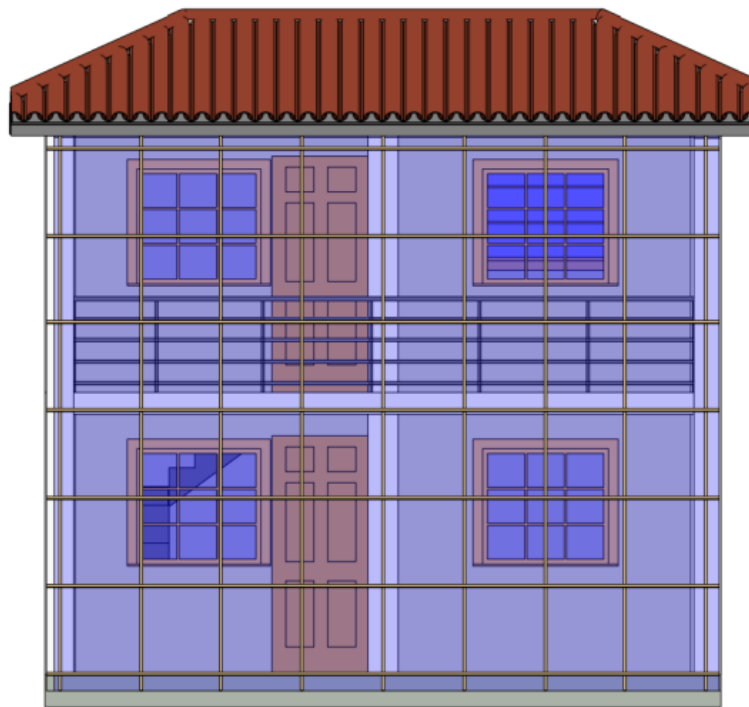
Dimensiones y medidas del invernadero (sistema solar pasivo) - Frontal



Nota. Planos arquitectónicos SSP – 01 – ELEVACIÓN FRONTAL

Figura 50

Dimensiones del invernadero adosado al módulo VRB



Nota. Plano de arquitectura – VISTA FRONTAL

Figura 51

Vista diagonal 3D del Módulo VRB con sistema solar pasivo (invernadero)



Nota. Planos arquitectónicos.

ÁNGULO ESTRUCTURAL A36					TEES ESTRUCTURAL A36				
Lados		Espesor		Peso Teórico	Lados		Espesor		Peso Teórico
mm	pulg	mm	pulg	kg/6m	mm	pulg	mm	pulg	kg/6m
38 X 38	1 1/2" X 1 1/2"	4.5	3/16"	16.072	38 X 38	1 1/2" X 1 1/2"	4.5	3/16"	16.072

El sistema solar pasivo denominado Invernadero tiene las dimensiones de 6.00 m de base y 5.22 m de alto en su elevación frontal para ambos invernaderos, tanto en el lado este como oeste del módulo. La elevación lateral, izquierda y derecha de ambos invernaderos (este y oeste), tienen 2.00 m de base mayor, 0.76 m de base menor y 5.22 de alto.

La propuesta de incorporar un sistema solar pasivo (invernadero) al módulo VRB está respaldada también en el estudio realizado por Nativio Acero en el 2016, pues el mencionado investigador incorporó a su vivienda desarrollada en el distrito de Ilave-Puno un invernadero solar tipo fitotoldo con orientación hacia el norte, con la finalidad de reducir las pérdidas de calor y, por el contrario, ganar un incremento de la temperatura al interior. Con esta propuesta eco-técnica logró un confort térmico al interior de la vivienda alcanzándose una temperatura de 18°C, lográndose con ello que la vivienda rural fuera capaz de auto solventarse térmicamente con tecnologías pasivas. De modo que, la orientación del módulo representa una ventaja para brindar confort térmico a la vivienda.

Es una vivienda construida en un área de 30 m², (6mx5m) más pequeña que la construida por CARE en el 2009 con la Comisión Europea y el Gobierno de Canadá, por lo que resulta ventajoso en este aspecto, que les dio un enfoque integral a las viviendas.

El invernadero cuenta con sistema de ventilación que consiste en ventanas incorporadas, que actúan como sistema de ventilación o aireación en las horas de mayor temperatura interior por efecto de la alta radiación solar que se presenta al medio día. El Módulo VRB tiene las siguientes características.

CUADRO DE SISTEMA SOLAR PASIVO	
Orientación de sistema solar pasivo	E - W
Número de sistema solar pasivo	2
Dimensiones del sistema solar pasivo	6.00m X 2.00 m X 5.22m
Número y dimensiones de ventanas	8 Ventanas de 1.30m X 1.20m
Espesor de vidrio en el Sistema solar pasivo	6mm
Puerta de acceso	2 puerta de 0.90m X 2.20m

3.1.3. Objetivo específico 3: resultados de la evaluación del adobe para el módulo

El adobe presenta propiedades térmicas, y ello fue demostrado en 2017 por Mamani Condori cuando diseñó un *Prototipo de vivienda con adobe mejorado en el distrito de Chupa-Puno*. En el presente estudio, se empleó el adobe como parte de la tabiquería del módulo VRB a fin de que los ambientes ganen mejor confort térmico, ya que el adobe tiene mejores propiedades térmicas respecto de otros materiales a emplearse.

El proceso de evaluación del adobe para ser empleado como material de construcción en el módulo de VRB consistió en:

Evaluación de las características del suelo

a. Cantera

El suelo a emplearse corresponde a la Cantera del Centro Poblado de Viluyo, distrito de Pichacani, provincia de Puno, región Puno, ubicado a 19 km de la ciudad capital de Puno. Las coordenadas UTM de la cantera son 395379 m E 8223471 m S.

Figura 52

Ubicación de la cantera se tierra para el adobe



b. Límites de consistencia

El suelo de la Cantera Viluyo presenta las siguientes características de Límites de consistencia. Ver tabla 7.

Tabla 1

Resultados de la evaluación de los Límites de consistencia – Suelo Cantera Viluyo

N°	SUELO PARA ADOBE	LÍMITES DE CONSISTENCIA		
		LL (%)	LP (%)	Ip (%) (LL-LP)
	VILUYO	29.96	16.34	13.62

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

De acuerdo a la tabla 7, donde se advierte que el LP es igual 16.34% se deduce que el suelo es aceptable para la elaboración de los adobes. Por otro lado, se aprecia que es 29.96% y ellos quiere decir que contiene un porcentaje aceptable y que la tierra puede ser utilizada para elaborar adobes. Las pruebas de límites de consistencia tienen la finalidad de determinar el grado de compresibilidad del suelo. En ese marco, los ensayos de laboratorio, según la Tabla 7 al tener un Ip de 13.62%, indica que el suelo de la cantera Viluyo se encuentra dentro de una baja compresibilidad, pues sus índices de Plasticidad están por debajo del 50%.

Tabla 8

Resultados de la evaluación del Contenido de Humedad del adobe – Cantera

N°	SUELO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	Viluyo - Adobe elaborado	0.57

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

De acuerdo con los resultados expuestos en la tabla 8, el suelo a intervenir con el proyecto presenta una humedad relativa muy baja de 0.57. esta prueba fuera realizada bajo las normas ASTM – D-2216 y MTC -E108. Siendo los resultados los siguientes:

c. Clasificación del suelo

Tabla 2

Resultados de la clasificación de suelos – Suelo Cantera Viluyo

Nº	Cantera	CLASIFICACIÓN SUCS	INTERPRETACIÓN
1	Viluyo	CL	Arcilla de baja compresibilidad

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

El ensayo fue realizado de acuerdo a norma ASTM 4422. De acuerdo a la tabla 9, el tipo de suelo corresponde a CL de acuerdo a la clasificación SUCS. Según Wainate y Cabrera (2010), este tipo de suelo es el más indicado para la producción de adobes.

Evaluación de las propiedades del suelo para elaborar el adobe

a. La Prueba Cinta de barro (Anexo 1, Norma E.080). Mediante este ensayo se logró determinar que la presencia de arcilla en el suelo a emplearse es la adecuada. Se hizo una cinta de barro que logró alcanzar una longitud de 13 cm en estado descolgado, ello significa que el suelo tiene arcilla en Proción adecuada. Ver tabla 10.

Tabla 3

Resultado de la prueba de Cinta de barro

Material evaluado	Cantera	Longitud requerida (cm)	Longitud alcanzada (cm)	Resultado
Tierra	Viluyo- Laraqueri	10-20 cm	13 cm	Tierra apta

Nota. Elaboración propia con base a ensayo (Norma E.080)

Figura 53

Prueba de cinta de barro



b. La Prueba de Resistencia seca (Anexo 2, Norma E.080). A través de esta prueba se logró determinar la presencia necesaria de arcilla en el suelo a emplearse. Se elaboraron 4 bolitas de barro de 2 cms de diámetro, que secados durante 48 horas (Norma E.080) no cedieron a la presión de la fuerza de los dedos. Ello significa que el suelo es útil. Ver tabla 11.

Tabla 4

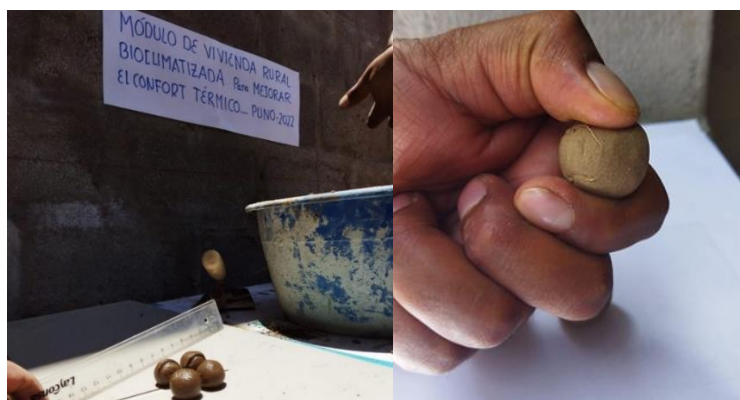
Resultado de la prueba de resistencia seca del suelo a emplearse

Material evaluado	Cantera	Exigencia	Exigencia alcanzada	Resultado
Tierra	Laraqueri - Viluyo	No se rompe	No se rompió	Tierra útil

Nota. Elaboración propia con base a ensayo (N. E.080)

Figura 54

Prueba de resistencia seca



c. Prueba de rollo. Mediante esta prueba se pudo determinar que el suelo empleado para la elaboración de adobes presenta la elasticidad necesaria. Se logró obtener rollitos de barro de aproximadamente 10 cm, ello significa que el suelo es apto para elaborar adobes.

Tabla 5

Resultado de la prueba de rollo

Material evaluado	Cantera	Longitud requerida	Longitud alcanzada	Resultado
Tierra	Laraqueri	5-15 cm	10 cm	Tierra apta

Nota. Elaboración propia con base a ensayo

Figura 55

Prueba de rollo



d. Determinación de las Dimensiones en (m). El adobe a emplearse en el módulo VRB, obedeciendo a criterios de procesos constructivos y peso de la vivienda, tiene las siguientes dimensiones: 25x40x15 cm. Si bien la Norma E.080 precisa que el adobe puede ser de forma cuadrada o rectangular, donde incluso se advierte la recomendación de que en para los adobes rectangulares el largo ha de ser el doble del ancho y tener una altura de entre 8 cm y 12 cm, en el presente se optó por las dimensiones indicadas obedeciendo a procesos constructivos. Los encuentros deben tener un ángulo de 90° salvo sean diseños especiales.

Materiales y proceso de elaboración del adobe

La elaboración del adobe comprendió las siguientes etapas:

a. Obtención de la tierra. La tierra a emplearse se obtuvo de la cantera Viluyo ubicado en el CPM de Viluyo, distrito de Pichacani, provincia y departamento de Puno, el mismo ha superado las pruebas necesarias para su uso como material de elaboración de adobe. De acuerdo a la Norma E.080, se realizaron la prueba de cinta de barro, prueba de resistencia seca, etc.

b. Materiales a emplearse en la elaboración del adobe. Los materiales empleados en la elaboración del adobe son: Ichu (vegetación existente en las zonas altoandinas de Puno), tierra y agua.

La Norma E.080, en su página 2, precisa que la dosificación del suelo a utilizarse debe aproximarse a los porcentajes siguientes: 10 a 20% de arcilla, 15 a 25% de limo y, 55 a 70% de arena. No se debe utilizar suelos orgánicos. En ensayo de mecánica de suelos determinó los porcentajes, para que el adobe tenga la resistencia deseada.

c. Etapa de preparación del barro (mortero). De acuerdo a la Norma E.080 (pág. 19), primeramente, se procedió a cernir la tierra y luego se mezcló con agua, dejándose hidratar por 48 horas. Una vez mezclado adecuadamente se le agregó ichu con la finalidad de ligar la arcilla. La masa de tierra e ichu se mezcló por un lapso de tiempo de tiempo de 30 min.

d. Etapa de moldeado. Una vez lista la mezcla, se procedió al moldeado del adobe con la ayuda de la gavera de las mismas dimensiones del adobe. Previamente, se remojó la gavera para fácil deslizamiento del adobe fresco.

e. Etapa de secado. De acuerdo a la Norma E.080, el secado del adobe fue lento y cubierto del sol, para evitar su agrietamiento. El secado del adobe duró 30 días, considerando el clima de la zona.

f. Etapa del apilado. Finalmente se procedió a su apilado para su posterior traslado al laboratorio para las pruebas correspondientes.

Evaluación de las características mecánicas del adobe

Mediante los siguientes ensayos se determinó las características del adobe a emplearse en el módulo VRB, obteniéndose los siguientes resultados:

a. Ensayo de succión. Este ensayo permitió evaluar la capacidad de adherencia del adobe elaborado durante el proceso de construcción del muro de adobe.

Tabla 6

Resultados del ensayo de succión del adobe– Cantera Viluyo, 2022

N°	PESO SECO (gr)	PESO SOMETIDO A PELÍCULA DE AGUA (3mm) (gr)	ÁREA (cm ²)	SUCCIÓN (gr/200 cm ² min)	NORMA E.070 (gr/200cm ²)
1	6210	6221	590	3.72	85.9
2	6189	6204	608	4.93	
3	6224	6236	594	4.03	
4	6305	6318	598	4.35	
5	6196	6208	596	4.02	
6	6293	6304	600	3.67	
Promedio succión				4.12	

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

Ensayo realizado de acuerdo a NTP 399.613. se seleccionó seis (6) adobes al azar. De acuerdo a la Tabla 13 tiene un 4.12 gm/cm²min. Este resultado comparado con la Norma E.070 indica que cumple con las exigencias. La comparación se efectúa, tomando en cuenta la norma E-070 ladrillo.

Figura 56

Ensayo de succión del adobe



c. Ensayo de absorción. A través de este ensayo se determinó la durabilidad del adobe a emplearse en el proyecto, en la posibilidad de que el adobe entre en contacto con la lluvia.

Tabla 7

Resultado del ensayo de absorción del adobe elaborado

Nº	DIMENSIONES	VOLUMEN (cm ³)	ABSORCIÓN (%)	NORMA E.070
1	30*20*9	5330	Perdió forma a 3.36 horas	15.00%
2	30*20*9	5090		
3	30*20*9	5102		
4	30*20*9	5406		
5	30*20*9	4925		
6	30*20*9	4724		

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

El adobe empleado para la construcción del módulo de vivienda rural bioclimatizado, de acuerdo a los resultados presentados en la tabla 14 producto de la realización del ensayo, no cumplió con el porcentaje de absorción mínimo exigido, de acuerdo a Norma NTP 399.613, debido a que el adobe sometido al ensayo perdió forma geométrica a las 3 horas con 36 minutos. De acuerdo a este resultado, se sugiere trabajar mejor esta propiedad del adobe. Para ello se puede añadir al adobe cemento para mejorar su cohesión. La norma E 0.70 de albañilería indica que el porcentaje mínimo de absorción es 15%; sin embargo, la norma NTP ITINTEC 331.017 es más complaciente, pues admite hasta 22% de absorción.

Figura 57

Ensayo de absorción del adobe



d. Ensayo de flexión

Tabla 8

Resultado del ensayo de flexión del adobe elaborado

N°	ADOBE	DIMENSIONES (cm)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mr) (kg/cm ²)
1	Adobe elaborado	30*20*9	4.78
2	Adobe elaborado	30*20*9	4.27
3	Adobe elaborado	30*20*9	6.08
4	Adobe elaborado	30*20*9	5.28
5	Adobe elaborado	30*20*9	6.01
6	Adobe elaborado	30*20*9	4.20
			5.10

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

El ensayo de laboratorio por flexión (deformación) se realizó en un equipo de compresión sobre una unidad de adobe de medidas presentadas en la tabla 15. El adobe se apoyó con una luz no mayor de 18cm y se presionó con carga al centro. De acuerdo a la tabla 65, el adobe falló a una carga de 5.10 kg/cm² en promedio, puesto que el ensayo se hizo en seis (6) adobes escogidos al azar.

Figura 58

Ensayo de flexión del adobe



d. Ensayo de esfuerzo de rotura (fo). Esta prueba es importante porque permitió determinar la capacidad para tolerar los esfuerzos de compresión.

Tabla 9

Resultados de la prueba de esfuerzo de rotura del adobe

N°	ADOBE	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	ESFUERZO DE ROTURA (kg/cm ²)	SEGÚN NORMA E.080 (kg/cm ²)
1	30*9*20	600	12060	20.31	12.00
2	30*9*20	600	11500	19.21	
3	30*9*20	600	11960	19.84	
4	30*9*20	600	12010	20.04	
5	30*9*20	600	11980	20.43	
6	30*9*20	600	11430	19.11	
Promedio esfuerzo de rotura				19.82	

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

El ensayo de resistencia a la compresión del adobe empleado en la construcción del módulo de vivienda rural bioclimatizado se ha realizado en seis (6) adobes, de acuerdo a norma, los mismos fueron escogidos al azar del conjunto. De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 16 se tiene que el adobe en estudio tiene una resistencia a la compresión de 19.82 kg/cm² como promedio, que comparado con el valor mínimo exigido por la norma E.080 supera en 9.82 kg/cm², ya que el valor mínimo establecido por la norma es 12.00 kg/cm². De acuerdo a este resultado, se deduce que el adobe empleado es de buena calidad y es apto para resistir fuerzas de compresión pues tendrá un buen comportamiento.

Figura 59

Ensayo a la rotura del adobe



e. Propiedades térmicas del adobe

La inercia térmica es la capacidad de retener o almacenar el calor (incidente del sol) que es redistribuido en el cuerpo y reemitido durante la noche, por ejemplo, al interior de la vivienda. La inercia térmica depende de la composición material de un muro: tierra, piedra, tierra coccionada, arena, arcilla, yeso, etc. Pero también dependerá de si el material es ligero (se calentará o enfriará rápidamente) o es denso y de gran espeso (almacenará mucho más calor). Siendo así, es necesario precisar de qué depende esta capacidad de almacenar y reemitir la energía almacenada. La inercia térmica depende de tres propiedades físicas de los materiales, como lo ha indicado Huaylla (2010): calor específico, densidad y conductividad térmica. De acuerdo a esto, los valores de la conductividad e inercia térmica del adobe como se puede apreciar en la tabla 17.

Tabla 10*Propiedades térmicas del adobe en comparación con otros materiales para muro*

Material	Conductividad térmica (K=W/m-K)	Densidad (d=kg/m³)	Calor específico (c=kJ/kg- K)	Coef. Emisión (C=kj/kg °C)	Inercia térmica (J/m²*S^{0.5}-K) I=(K*D*c)^{0.5}
Adobe	0.64–1.00 (X=0.82)	1.5 – 1.9 (x=1.7)	0.23	0.92	0.57
Teja	1.05	2.00	...	...	...
Ladrillo	0.72	1.97	0.23	0.9	1.71
Yeso	0.50	1.00	...	1.09	...
Paja	0.09	0.27	0.28	...	...
Aluminio	2.21	2.74	0.25	0.09	...

Nota. Tomado de Rozis J. y Guinebault A. Calefacción Solar para Regiones frías. En: Mamani (2017).

De acuerdo a la tabla 17, se advierte que la conductividad térmica del adobe está entre 0.64 y 1.00 W/m*°C (0.82 en promedio), en tanto que para el ladrillo es 0.72. Por otro lado, la inercia térmica, es decir, la capacidad de almacenar y remitir calor, del adobe es 0.57 J/m²*S^{0.5}*K y del ladrillo 1.71. Estos datos indican que, si bien el adobe demora en almacenar calor, también demora en reemitirla, lo último resulta beneficioso si se quiere tener un ambiente cálido por las noches de manera prolongada. Por otro lado, si bien el ladrillo tiene la capacidad de almacenar rápidamente el calor, también tiene esa facilidad para reemitirla en un periodo corto. Sin embargo, cabe precisar que la inercia térmica, al igual que la conductividad térmica, depende del espesor del material y de la radiación solar. en la zona altoandina, el requerimiento de alta radiación solar está garantizada, debido a que se tiene una radiación de 5 KWh/m².

3.1.4. Objetivo específico 4: resultados de la evaluación de la capacidad portante del suelo

El estudio de suelos se realizó en un laboratorio privado denominado Triple Geo E.I.R.L., ubicado en el distrito, provincia y departamento de Puno.

Características físicas del suelo

a. Clasificación de suelos

La Clasificación de Suelos se ha realizado bajo el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) o Unified Soil Classification System (USCS) realizándose los ensayos estándar de clasificación (D422-D2216-D4318-D427-D2487). Los resultados se muestran en la tabla 18.

Tabla 11

Resultados de la evaluación de Clasificación de suelos para edificación – Cantera Viluyo, Pichacani, Puno

N°	ADOBE	CARACTERÍSTICAS SUCS	INTERPRETACIÓN
1	Estrato 1 (0.00 – 0.30 m)	CL	Arcilla de baja plasticidad
2	Estrato 2 (0.30 – 0.70 m)	CL	Arcilla de baja plasticidad
3	Estrato 3 (0.70 – 2.50 m)	ML	Limo de baja plasticidad

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

De acuerdo al sistema SUCS, y los resultados obtenidos, se tiene que el suelo a intervenir con el proyecto del Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizada corresponde al Tipo CL y ML, esto es Arcilla de baja plasticidad (CL) y Limo de baja plasticidad o baja compresibilidad.

Figura 60

Identificación, Excavación y obtención de muestras del suelo para el proyecto – Viluyo, Pichacani, Puno, 2022



b. Límites de Albert Atterberg o de consistencia del suelo de cimentación

Un límite de consistencia es la relativa facilidad con la que el suelo puede deformarse (Bolaños, 2016). Los ensayos de límites de consistencia (LL, LP, Ip) se realizaron bajo la Norma ASTM-D424 D-4318 y AASHTO – T90. Los resultados son los siguientes:

Tabla 12

Resultados de la evaluación de los Límites de consistencia – Suelo Cantera Viluyo

N°	ADOBE	LÍMITES DE CONSISTENCIA		
		LL (%)	LP (%)	Ip (%)
1	Muestra 1	32.27	18.83	13.45
2	Muestra 2	37.49	21.05	16.44
3	Muestra 3	34.23	27.83	06.40

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

De acuerdo a la tabla 19 se tiene que el estrato 1 (CL) del suelo intervenido tiene un LL = 32.27%, LP = 18.83% y Ip = 13.45%; el estrato 2 (CL) presenta un LL = 37.49%, LP = 21.05% y Ip = 16.44%; y el estrato 3 (ML), un LL = 34.23%, LP = 27.83% y Ip = 06.40%. Estos índices indican una baja compresibilidad, pues sus índices de Plasticidad están por debajo del 50%.

Figura 61

Realización de los ensayos de límites de consistencia, suelo Viluyo



c. Contenido de humedad

Los ensayos de Contenido de Humedad se efectuaron bajo las normas ASTM – D-2216 y MTC -E108. Siendo los resultados los siguientes:

Tabla 13

Resultados de la evaluación del Contenido de Humedad – Cantera Viluyo

N°	SUELO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
1	Estrato 1 (0.00 – 0.30 m)	26.18
2	Estrato 2 (0.30 – 0.70 m)	31.22
3	Estrato 3 (0.70 – 2.50 m)	35.94

Nota. Ensayo de laboratorio Triple Geo E.I.R.L.

De acuerdo a los resultados, que se pueden apreciar en la tabla 20, el suelo a intervenir con el proyecto presenta una humedad relativa de 26.18% en su estrato 1, 31.22% en su estrato 2 y 35.94% en su estrato 3.

Figura 62

Determinación del contenido de humedad del suelo a intervenir – Viluyo, Pichacani, Puno -2022



Determinación de la Capacidad portante por Ensayo DPL

Para determinar la capacidad portante del suelo a intervenir con el proyecto de investigación se empleó el método de Penetración Dinámica Ligera (DPL), amparado en la norma NTP 339.159 (DIN4094). El estudio de capacidad portante se hizo en el Centro Poblado de Viluyo, perteneciente a la jurisdicción del distrito de Pichacani, provincia de Puno, departamento de Puno. Se excavó una calicata a una profundidad de 2.50 metros, encontrándose tres estratos. Los resultados son los siguientes:

Tabla 14*Resultados de la capacidad portante del suelo Viluyo – Método DPL*

Suelo	Profundidad	Q adm.
CL	0.20	0.456
	0.40	0.458
CL	0.60	0.375
	0.80	0.333
ML	1.00	0.333
	1.20	0.500
	1.40	0.458
	1.60	0.458
	1.80	0.333
	2.00	0.375
Nivel freático	2.20	0.500
	2.40	0.542
	2.60	0.583
	Promedio	260	0.439

Nota. Método DPL - Triple Geo E.I.R.L.

De acuerdo a los resultados de la tabla 21, se deduce que el suelo a intervenir con el proyecto de Módulo de VRB tiene una capacidad admisible promedio Q_{adm} de 0.439 kg/cm², esto es que tiene una baja capacidad portante, lo que ha influido considerablemente en el diseño de las zapatas del módulo.

Figura 63

Aplicación del método DPL para determinar capacidad portante del suelo a intervenir – Viluyo, Pichacani, Puno - 2022



Diseño de cimentaciones

Considerando los valores (carga muerta y carga viva) de la tabla 87688, se tiene que la carga de servicio del módulo VRB es 60.25 Tn. De acuerdo a este dato, se tiene que las cargas de servicio por columna son:

	1.25	2.5	1.25	
1.5	P1	P2	P1	1.5
	1.25	2.5	1.25	
3	P3	P4	P3	3
	1.25	2.5	1.25	
1.5	P1	P2	P1	1.5
	1.25	2.5	1.25	

- P1 = 3.77 Ton
- P2 = 7.53 Ton
- P3 = 7.53 Ton
- P4 = 15.06 Ton

Del estudio de suelos se tiene que $Q_{amd} = 0.50 \text{ kg/cm}^2$ (5 Ton/m²), por lo que las dimensiones de la zapata para la columna P1, P2 y P3 será de 1.30x1.30 m cuya $Q_{adm} = 8.45 \text{ Ton}$, superior al requerido; y para la zapata de la Comuna P4 será de 1,80 x 1.80 m, siendo su $Q_{adm} = 16.2 \text{ Ton}$, también superior al requerido.

3.1.5. Objetivo específico 5: resultados del análisis sísmico estructural del módulo VRB

En este apartado se desarrolla el análisis sísmico estático del Módulo de vivienda rural bioclimatizado.

1. Metrado de cargas

Figura 64

Plano de dimensiones de elementos estructurales (primer y segundo piso)

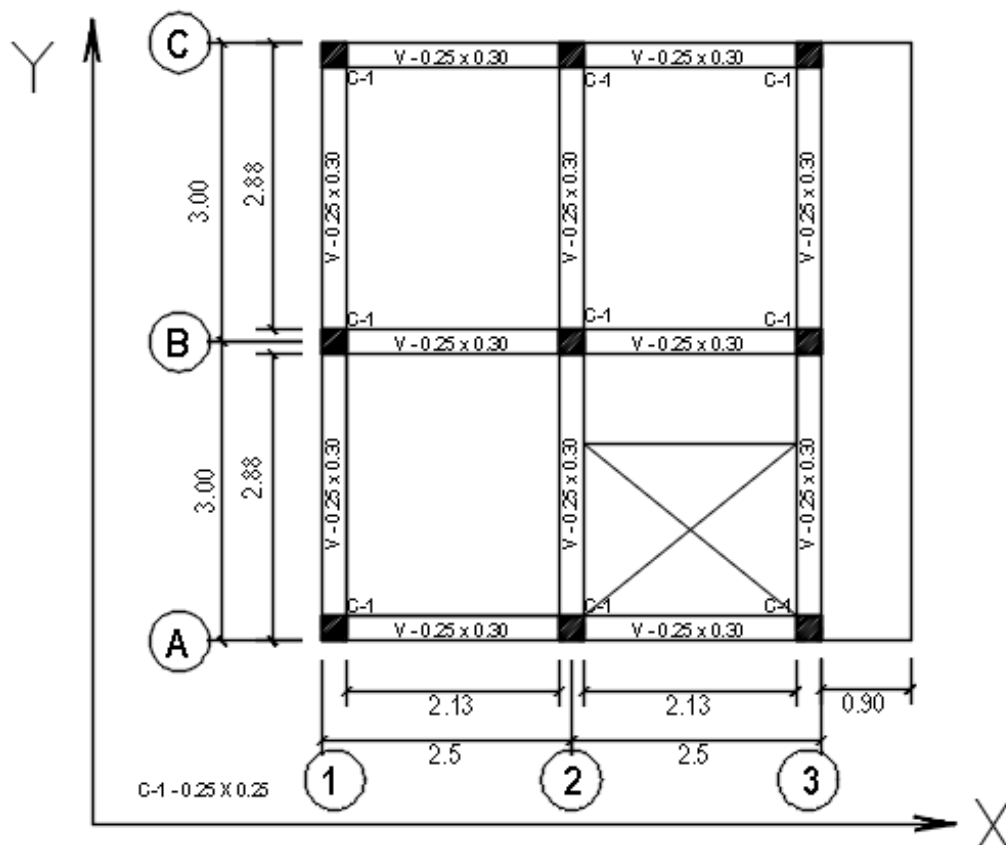


Tabla 15

Resumen de metrado de cargas

NIVEL	VIG. (ton)	COL. (ton)	LOS. (ton)	Acb. (ton)	TAB. (ton)	S/C (ton)	CM (ton)	CV (ton)	P (ton)
1	6.43	3.24	9.53	3.18	18.23	6.36	40.61	6.36	42.20
2	5.94	1.62	1.59	3.18	0.00	0.95	12.33	0.95	12.57

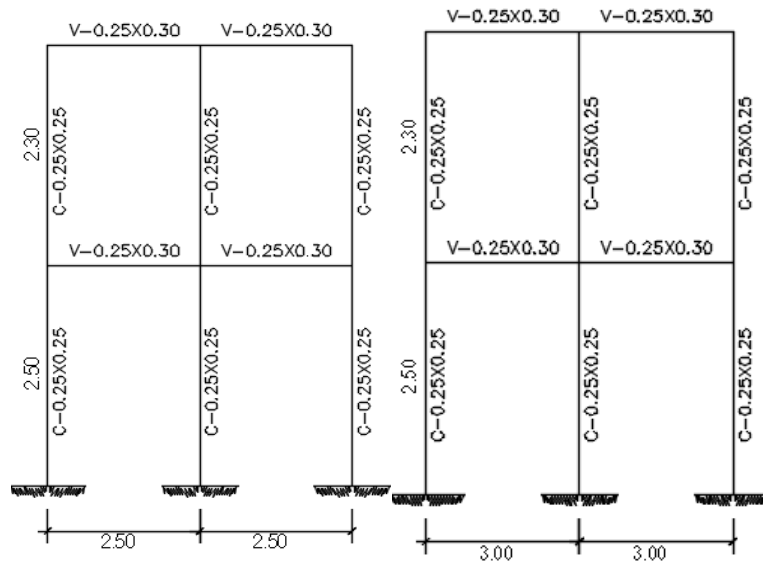
Nota. Ficha de análisis sísmico.

De acuerdo a la tabla 22, se puede deducir que el peso total del módulo de VRB es 54.77 Ton.

2. Cálculo de rigidez lateral del pórtico por las expresiones de Wilbur

Figura 65

Pórtico en dirección X (izquierda) y en dirección Y (derecha)



Rigideces en dirección X y Y en el primer y segundo nivel

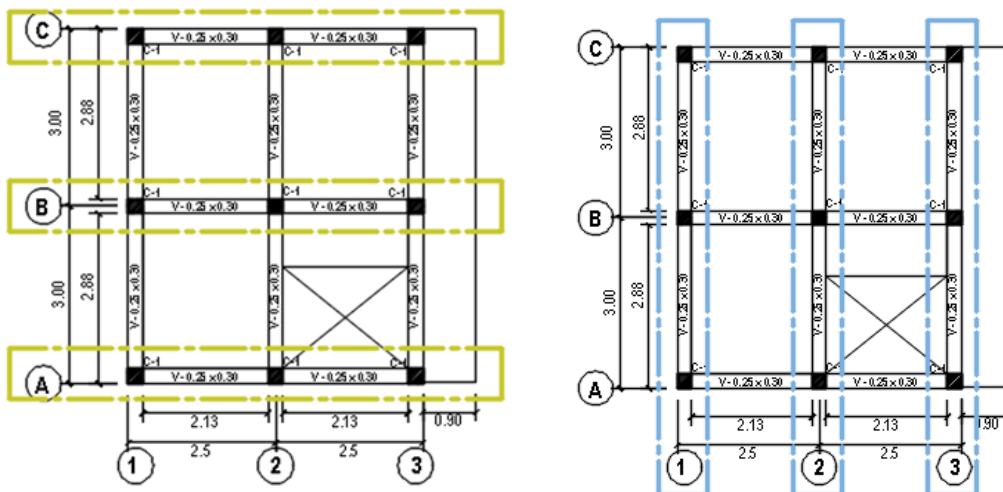


Tabla 16

Resumen de rigideces en dirección 'X' y 'Y' en el primer y segundo nivel

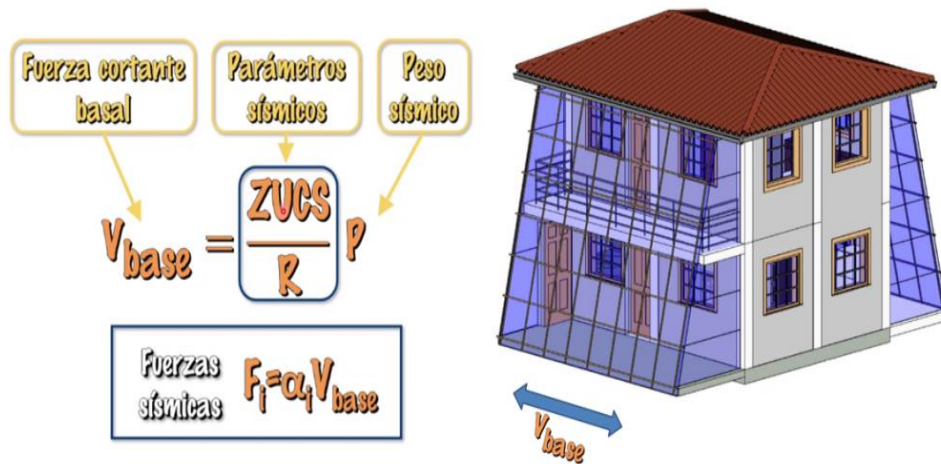
NIVEL	RIGIDEZ LATERAL PARA UN PORTICO (ton-f/m)	RIGIDEZ LATERAL TOTAL (ton-f/m)	NIVEL	RIGIDEZ LATERAL PARA UN PORTICO (ton-f/m)	RIGIDEZ LATERAL TOTAL (ton-f/m)
2	974.13	2922.38	2	889.64	2668.92
1	1305.91	3917.73	1	1238.67	3716.00

Nota. Ficha de análisis sísmico.

3. Cálculo de la cortante basal

Figura 66

Fórmula de cálculo de la cortante basal



Factores	Valores	Norma
DE ZONA	Z = 0.35	E.030 – Anexo II Zonificación sísmica
DE USO	U = 1	E.030 Tabla 5
PERIODO FUNDAMENTAL	T = 0.14	E.030
DE SUELO	S = 1.15	E.030 Tabla 3
DE AMPLIFICACIÓN	C = 2.5	E.030 ART. 14
DE REDUC. SÍSMICA	R = 8	E.030 Tabla 7
CORTANTE BASAL	V = 6.89 ton-F	

De los cálculos, la cortante basal es 6.89 Ton-f.

4. Análisis de fuerzas equivalentes

Figura 67

Fuerzas sísmicas y cortantes de entresijos

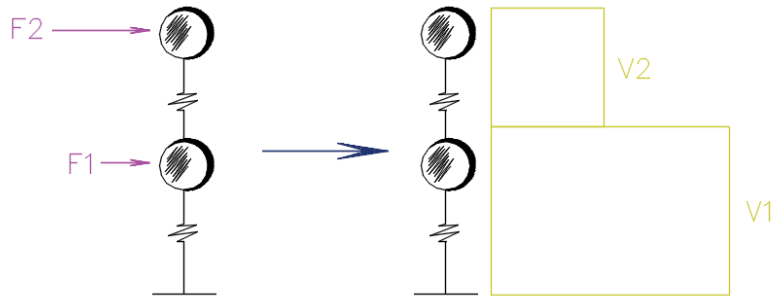


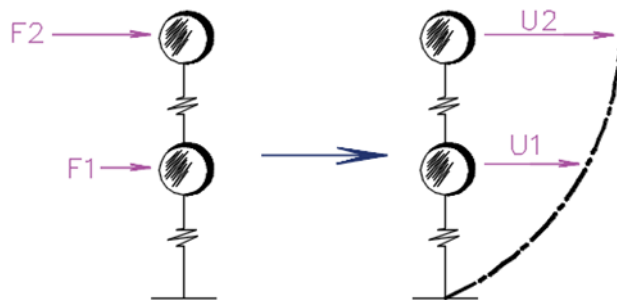
Tabla 17

Fuerzas cortantes de entresijos

PESOS (ton-f)	Alturas (m)	Alturas Acum (m)	Producto PH ³ K	Porcentaje α	Fuerza Sísmica	Fuerza cortante de entresijo
P1 42.20	h1 2.40	H1 2.40	P_{PH^3K} 101.28	α_1 0.627	$\alpha_1 V = F_1$ 4.32	V1 6.89
P2 12.57	h2 2.40	H2 4.80	P_{PH^3K} 60.32	α_2 0.373	$\alpha_2 V = F_2$ 2.57	V2 2.57

Nota. Ficha de análisis sísmico.

5. Cálculo de desplazamiento elástico en ambas direcciones



En dirección X

$$K = \begin{vmatrix} 6840.12 & -2922.4 \\ -2922.4 & 2922.38 \end{vmatrix} \quad \text{MAT. INV. } (K^{-1}) = \begin{vmatrix} 0.00026 & 0.00026 \\ 0.00026 & 0.0006 \end{vmatrix} \quad F = \begin{vmatrix} 4.32 \\ 2.57 \end{vmatrix} \quad U = \begin{vmatrix} K^{-1} \\ 1 F \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.00176 \\ 0.00264 \end{vmatrix}$$

En dirección Y

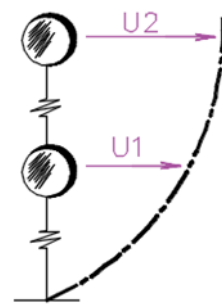
$$K = \begin{vmatrix} 6384.91 & -2668.9 \\ -2668.9 & 2668.92 \end{vmatrix} \quad \text{MAT. INV. } (K^{-1}) = \begin{vmatrix} 0.00027 & 0.00027 \\ 0.00027 & 0.00064 \end{vmatrix} \quad F = \begin{vmatrix} 4.32 \\ 2.57 \end{vmatrix} \quad U = \begin{vmatrix} K^{-1} \\ 1 F \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.00185 \\ 0.00282 \end{vmatrix}$$

* Desplazamientos reales "inelásticos" en ambas direcciones.

En dirección X

$$U = \begin{vmatrix} K^{-1} \\ 1 F \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.00176 \\ 0.00264 \end{vmatrix} \quad U = 0.75 * R^* = \begin{vmatrix} 0.0105 \\ 0.0158 \end{vmatrix}$$

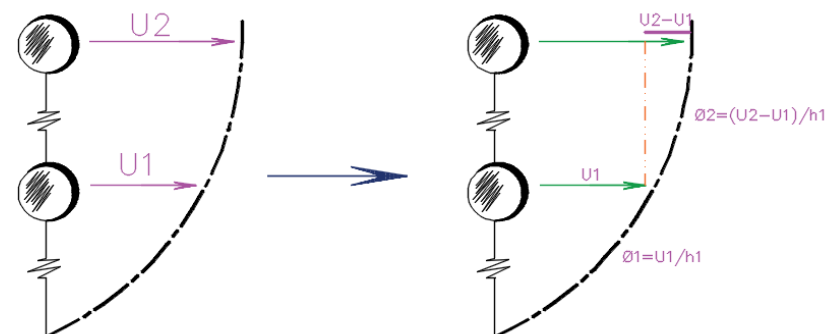
En dirección Y

$$U = \begin{vmatrix} K^{-1} \\ 1 F \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.00185 \\ 0.00282 \end{vmatrix} \quad U = 0.75 * R^* = \begin{vmatrix} 0.01112 \\ 0.0169 \end{vmatrix}$$


6. Cálculo de las derivas o distorsiones inelásticas de entrepiso en ambas direcciones

Figura 68

Gráfica de distorsiones



En dirección X

$$\emptyset_e = \begin{vmatrix} U_1/h_1 \\ (U_2 - U_1)/h_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.00073 \\ 0.00037 \end{vmatrix} \quad \emptyset_i = \begin{vmatrix} 0.0044 \\ 0.0022 \end{vmatrix} \quad 0.75R\emptyset_e$$

En dirección Y

$$\emptyset_e = \begin{vmatrix} U_1/h_1 \\ (U_2 - U_1)/h_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0.00077 \\ 0.0004 \end{vmatrix} \quad \emptyset_i = \begin{vmatrix} 0.00463 \\ 0.00241 \end{vmatrix} \quad 0.75R\emptyset_e$$

7. Comparación de las distorsiones con la normativa E. 030

En dirección X

$$\emptyset_i = \begin{vmatrix} 0.0044 \\ 0.0022 \end{vmatrix} < 0.007 \quad \begin{matrix} \text{SI} \\ \text{CUMPLE} \\ \text{SI} \\ \text{CUMPLE} \end{matrix}$$

Artículo 32.- Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 11.

Material Predominante	(Δ_i / h_w)
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota: Los límites de la distorsión (deriva) para estructuras de uso industrial son establecidos por el proyectista, pero en ningún caso exceden el doble de los valores de esta Tabla.

En dirección Y

$$\emptyset_i = \begin{vmatrix} 0.00463 \\ 0.00241 \end{vmatrix} < 0.007 \quad \begin{matrix} \text{SI} \\ \text{CUMPLE} \\ \text{SI} \\ \text{CUMPLE} \end{matrix}$$

El sistema estructural propuesto para el Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado cumple con los límites de distorsión admisibles de entrepisos exigida por la norma E.030, debido a que $\emptyset_i=0.0044$ y $\emptyset_i = 0.0022$ del primer y segundo entrepisos en dirección X, $\emptyset_i=0.00463$ y $\emptyset_i = 0.00241$ del primer y segundo entrepisos en dirección Y, son menores a $\emptyset_i = 0.007$ exigido por la norma E-030. En suma, se

deduce que la estructura diseñada es sísmicamente resistente, ofreciéndose una vivienda segura al poblador de la zona altoandina, además de caliente.

Las casas de adobe, específicamente de dos pisos, no ofrecen seguridad, aunque sí mejor confort térmico en contraste con las casas de ladrillo y/o cemento. Ya en el 2014, Guillermo Velarde, mediante un análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas de dos pisos de adobe en Canta- Lima, había demostrado que las viviendas de dos pisos de adobe son vulnerables, debido a que los muros no son adecuados para resistir esfuerzos y desplazamientos en un sismo severo. Ello se debía a que existe debilidad de las conexiones entre muros y las uniones están agrietadas, además la conexión entre los muros es débil debido a que el techo no funciona como diafragma. Estos estudios, sugieren mejoras en las casas de adobe de dos pisos, que, si bien tienen la ventaja de estar construidas con adobe, no ofrecen seguridad. El presente estudio, incorpora elementos estructurales como columnas, vigas, vigas de amarre, y, además, se evaluó sísmicamente la estructura del módulo de VRB, y de acuerdo a los datos obtenidos, resulta ser sísmicamente resistente.

3.1.6. Objetivo específico 6: resultados de la elaboración de la maqueta del módulo de VRB a esc. 1:10

a. Determinación de la escala. La maqueta se elaboró a una escala de 1:10 a fin de que permita medir la temperatura al interior de la misma.

b. Materiales. Los materiales empleados en la construcción de la maqueta del módulo VRB son los mismos que si hubiesen empleado en la construcción del Módulo a escala real. Entre ellos tenemos:

- **Tierra.** Obtenida del mismo lugar, cuyas propiedades han sido evaluadas.
- **Ichu.** Es una vegetación abundante de la zona, empleado históricamente en la elaboración de adobe, cuya función es ligar la tierra.
- **Agua.** Utilizado para preparar la mezcla.
- **Acero.** Utilizado en la estructura de concreto armado del módulo.
- **Yeso.** Para el enlucido de paredes externas e internas, con una buena propiedad térmica.
- **Madera.** Empleado en el diseño de puertas y ventanas, así como en la estructura del techo.







- **Vidrio.** Material empleado en las ventanas y, especialmente, en el sistema solar pasivo, invernadero.
- **Calamina.** Para la cobertura del techo del módulo.
- **Cemento.** Empleado para los elementos estructurales de concreto armado.
- **Arena.** Utilizado como agregado en los elementos estructurales de concreto armado.

c. Proceso de elaboración de la maqueta.

Figura 69

Proceso de elaboración de la maqueta del módulo VRB a escala 1:10

			
Materiales	Preparación mezcla	Adobe a escala	Estribo a escala
			
Acero a escala	Compactación	Trazo y replanteo	Excavación
			
Cimentación	Sobrecimiento	Mezcla para losa	Vaciado 1er piso

			
Vaciado 1er nivel	Ch'alla	Vigas "2do nivel	Revestido - yeso
			
Puerta de madera	Calamina	Techado del módulo	Versión cuasifinal

d. Producto final: maqueta del módulo de VRB

Figura 70

Prototipo del Módulo de VRB acabado a escala 1:10





3.1.7. Objetivo general: resultados de la medición de temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa (HR%) y determinación del confort térmico

A nivel de Perú, y específicamente la región andina de la región Puno, ubicada a una altitud por encima de los 3810 m.s.n.m., los meses de junio, julio y agosto con los más críticos en cuanto a temperaturas extremas; sin embargo, el presente estudio realizó sus mediciones en el mes de febrero y marzo del año 2022, debido a los plazos de ejecución del mismo. Sin embargo, ello no significa que los resultados de la investigación no sean válidos, pues en la región Puno, aún en estos meses que pertenecen a la estación de verano, es frígido. Siendo así, la temperatura interna de la vivienda en estudio se contrastó con la temperatura del ambiente, visualizándose notables diferencias entre ambas.

Memoria descriptiva

La medición de la temperatura y la humedad relativa del ambiente natural, en la vivienda rural típica (grupo control) y en el módulo VRB (grupo experimental) se realizaron en el CPM de Viluyo, distrito de Pichacani, provincia y departamento de Puno, a partir del 25 de febrero al 19 de marzo del 2022, meses que corresponden a

la estación de verano, caracterizada por la presencia de altas precipitaciones, nubes, radiación solar, en suma, un clima variante.

La medición de estos parámetros bioclimáticos se efectuó por un periodo igual a ocho (8) días en los siguientes cortes de tiempo: 6:00, 9:00, 12:00, 15:00, 18:00; 21:00 y 24 horas, para de ese modo evaluar el comportamiento de estos parámetros a lo largo del día en la estación de verano de la región altoandina.

Cabe precisar que la medición de estos parámetros bioclimáticos efectuados en los ambientes interiores de la vivienda rural típica y módulo de VRB se hicieron sin que sus usuarios o personas las estén habitando al momento de la medición, pues se considera que el calor corporal alteraría el resultado obtenido.

A. Resultados de la medición de temperatura (T°C) en el exterior e interior en la vivienda rural típica de adobe existentes sin sistema solar pasivo

Tabla 18

Resultados de la medición de temperatura en el ambiente exterior e interior de la casa rural típica, Viluyo- Puno, 2022

FECHA	HORA	12:00 a. m.	3:00 a. m.	6:00 a. m.	9:00 a. m.	12:00 p. m.	3:00 p. m.	6:00 p. m.	9:00 p. m.
Promedio	T° Int.	11.2	11.1	10.8	14.5	21.2	20.8	17.0	13.7
	T° Ext.	9.5	8.2	7.6	14.6	22.0	21.1	14.8	12.0
Rango de Confort	T° Max.	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
	T° Min.	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
25-Feb	T° Int.	10.9	9.8	10.0	12.3	19.2	17.7	15.4	13.2
	T° Ext.	9.0	8.2	7.0	11.0	16.3	15.7	11.3	9.3
26-Feb	T° Int.	11.3	10.1	11.0	13.8	18.7	19.2	15.1	12.0
	T° Ext.	8.0	5.2	6.1	9.5	14.6	15.3	10.2	9.1
04-Mar	T° Int.	13.5	13.7	11.9	17.5	24.3	22.7	19.6	15.4
	T° Ext.	11.4	9.8	6.9	21.9	22.2	25.0	20.4	15.2
05-Mar	T° Int.	13.1	12.4	11.7	17.5	22.8	22.1	18.3	15.3
	T° Ext.	10.9	8.9	8.7	17.0	29.6	21.9	17.4	13.3
11-Mar	T° Int.	10.9	12.5	12.3	14.7	20.3	21.8	15.3	13.3
	T° Ext.	9.7	9.0	10.9	16.0	27.2	25.6	13.0	12.3
12-Mar	T° Int.	10.0	9.1	8.4	12.4	25.0	23.0	21.0	15.0
	T° Ext.	9.1	8.1	7.0	17.2	19.6	23.3	20.1	17.0
18-Mar	T° Int.	11.5	11.8	11.3	15.7	21.1	20.6	17.8	14.1
	T° Ext.	9.2	8.3	8.1	15.1	21.1	20.8	17.7	14.1
19-Mar	T° Int.	8.0	9.7	9.5	12.1	17.9	19.2	13.6	11.5
	T° Ext.	8.5	7.8	6.3	8.8	25.3	21.1	8.5	5.4

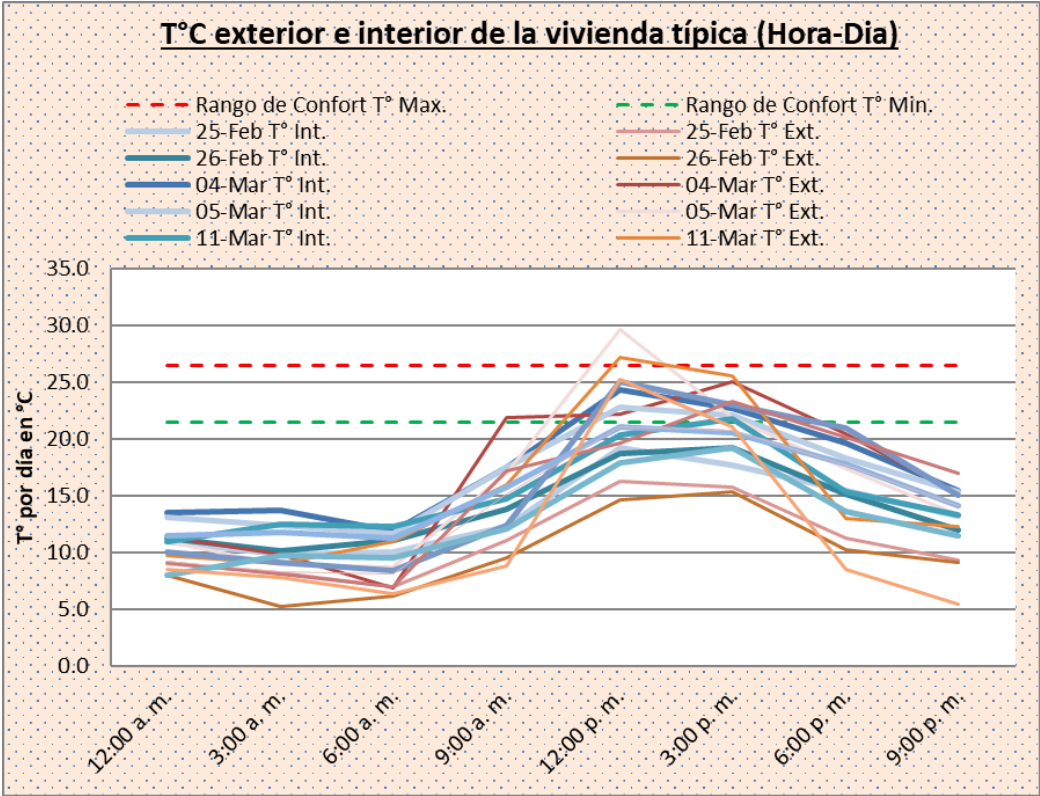
Nota. Elaboración propia con base a la Ficha de medición.

En la tabla 25 se puede observar el consolidado de los resultados de la medición y comportamiento de la temperatura en el exterior e interior de la vivienda típica rural (VRT) durante el periodo intervenido en la investigación. El registro de la temperatura externa se hizo con la finalidad de contar con una temperatura base que sirva, comparativamente, para determinar si la temperatura interna se comporta mejor respecto de la temperatura ambiente, es decir, si existe un confort térmico en el interior de la vivienda.

La norma internacional UNE-EN ISO 7730 (Ergonomía del ambiente térmico), precisa que la temperatura de confort está en el rango de 21.5°C a 26.5°C. Este parámetro sirvió para determinar si la temperatura interna se aloja en la zona de confort. Para dicho análisis se presenta la figura 56.

Figura 71

Temperatura exterior e interior de la vivienda rural típica Viluyo- Puno, 2022



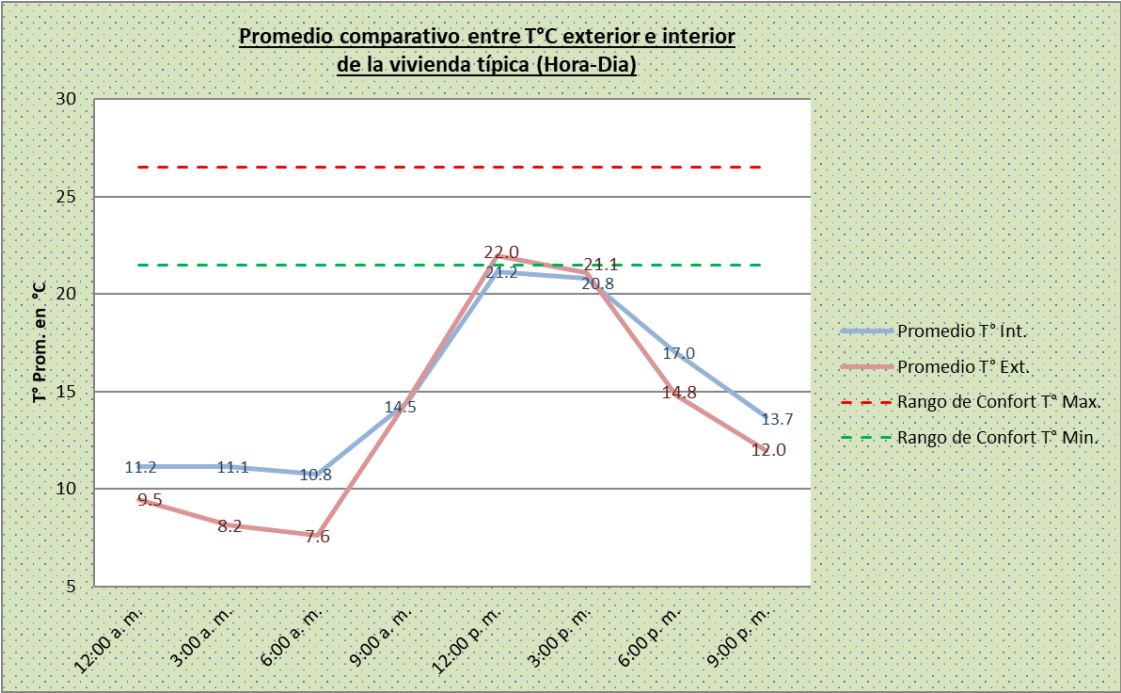
Nota. Tomado de la Tabla 25.

En la figura 71, se puede advertir el comportamiento de la temperatura hora a hora durante los ocho días de medición, tanto en el exterior (color rojo y similares) como en el interior de la vivienda rural típica (color azul y similares). Se puede observar

que, la temperatura externa es más heterogénea, con temperaturas muy variables desde 5°C a 29.6°C. Si bien algunos días la temperatura externa alcanza la zona de confort, generalmente se encuentra muy por debajo de la temperatura mínima de confort (21.5°C), más precisamente por debajo de 20°C llegando a temperaturas bajas como 5°C. sin embargo, la temperatura interna de la vivienda rural típica, se comporta más homogénea y se aproxima más a la zona de la temperatura de confort, en comparación a la temperatura externa. Los valores no son muy variables, se presentan temperaturas 25°C hasta 8.4°C, siendo más homogéneo y próximo a la zona de confort, por lo que se deduce que el interior de la VRT ofrece mejor confort que el exterior.

Figura 72

Promedio comparativo de la temperatura exterior e interior de la vivienda rural típica Viluyo- Puno, 2022



Nota. Tomado de la Tabla 25.

En la figura 72, se puede visualizar comparativamente los promedios de las temperaturas en °C en el exterior e interior de la VRT y las diferencias entre ellas. Gráficamente, se observa que, la temperatura en el exterior se comporta más variable y más extrema (frío), siendo la T°C más crítica 7.6°C (frígida) y la temperatura más alta que logra alojarse en la zona de confort es 22°C, que se alcanza

durante el día en el lapso que va desde las 12:00 horas a 15.00 horas. Sin embargo, la temperatura promedio en el interior de la VRT de adobe se muestra más amigable, debido a que se acerca más a la zona de temperatura confort sobre todo durante la noche que son las horas donde se requiere confort. En suma, la temperatura interna en el interior de la vivienda es más confortable que en exterior.

B. Resultados de la medición de la Humedad Relativa (HR%) en el exterior e interior en la vivienda rural típica de adobe existentes

Tabla 19

Resultados de la medición de Humedad Relativa en el ambiente exterior e interior de la casa rural típica, Viluyo- Puno, 2022

FECHA	HORA	12:00 a. m.	3:00 a. m.	6:00 a. m.	9:00 a. m.	12:00 p. m.	3:00 p. m.	6:00 p. m.	9:00 p. m.
Promedio	HR (%) Int.	70%	68%	67%	59%	49%	46%	55%	62%
	HR (%) Ext.	62%	61%	65%	54%	41%	37%	52%	64%
Rango de Confort	HR (%) Max.	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	HR (%) Min.	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
25-Feb	HR (%) Int.	70%	66%	74%	71%	68%	60%	72%	75%
	HR (%) Ext.	69%	65%	82%	79%	65%	51%	71%	85%
26-Feb	HR (%) Int.	74%	68%	64%	62%	58%	61%	68%	73%
	HR (%) Ext.	75%	72%	65%	61%	57%	60%	75%	86%
04-Mar	HR (%) Int.	66%	68%	64%	53%	42%	41%	51%	67%
	HR (%) Ext.	73%	69%	71%	39%	39%	29%	47%	46%
05-Mar	HR (%) Int.	63%	62%	65%	50%	46%	43%	48%	62%
	HR (%) Ext.	59%	51%	50%	48%	31%	32%	41%	63%
11-Mar	HR (%) Int.	76%	76%	69%	64%	41%	37%	51%	53%
	HR (%) Ext.	54%	60%	61%	52%	30%	30%	53%	51%
12-Mar	HR (%) Int.	81%	75%	70%	63%	40%	38%	50%	51%
	HR (%) Ext.	43%	55%	68%	47%	43%	30%	26%	48%
18-Mar	HR (%) Int.	65%	65%	66%	49%	46%	44%	47%	59%
	HR (%) Ext.	63%	63%	63%	47%	32%	36%	42%	59%
19-Mar	HR (%) Int.	65%	64%	64%	58%	52%	43%	54%	53%
	HR (%) Ext.	57%	55%	63%	57%	30%	31%	59%	70%

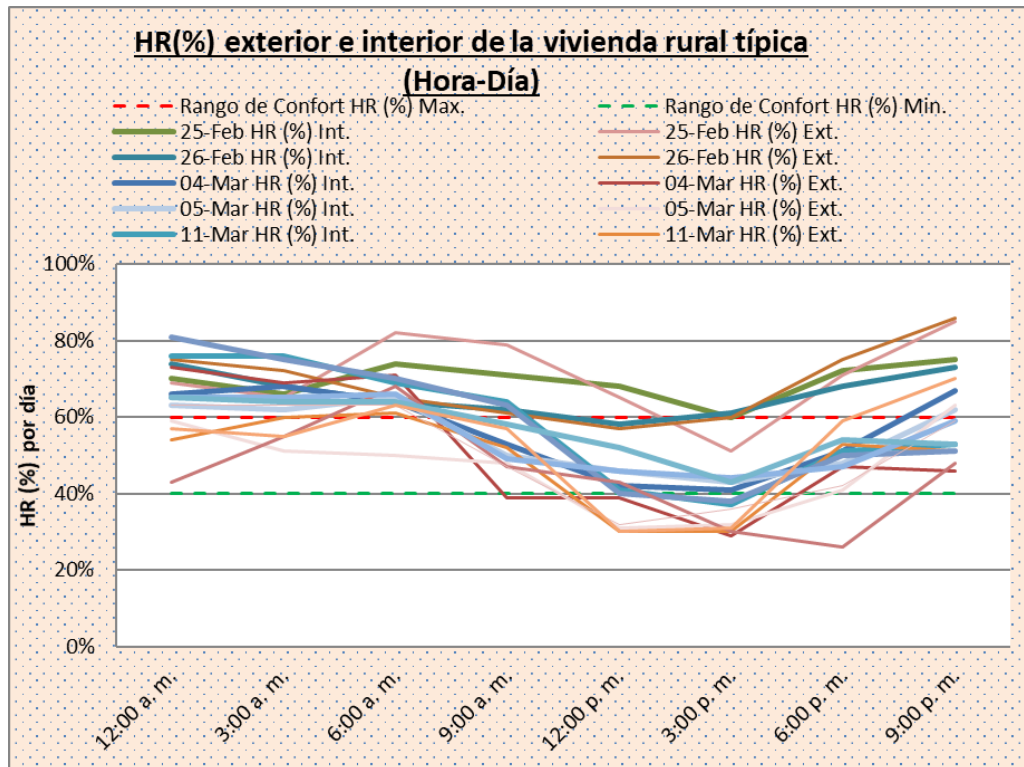
Nota. Elaboración propia con base a la Ficha de medición.

En la tabla 26 se observa el resultado de las mediciones de la humedad relativa en el exterior e interior de la vivienda rural típica durante los meses de febrero y marzo, mediciones hechas en horas de la mañana y de la noche a fin de observar el comportamiento de la humedad relativa en el interior de dicha vivienda. Al igual que la temperatura externa, la HR externa (HRe) se comporta de forma más variable que la HR interna (HRi).

La norma internacional ASHRAE – Estándar 55 precisa que la Humedad Relativa de confort es aquella que se ubica entre 40% y 60%. Para evaluar el comportamiento de la HR bajo estos estándares se elaboró la siguiente figura.

Figura 73

Humedad Relativa (%) exterior e interior de la vivienda rural típica Viluyo - Puno, 2022

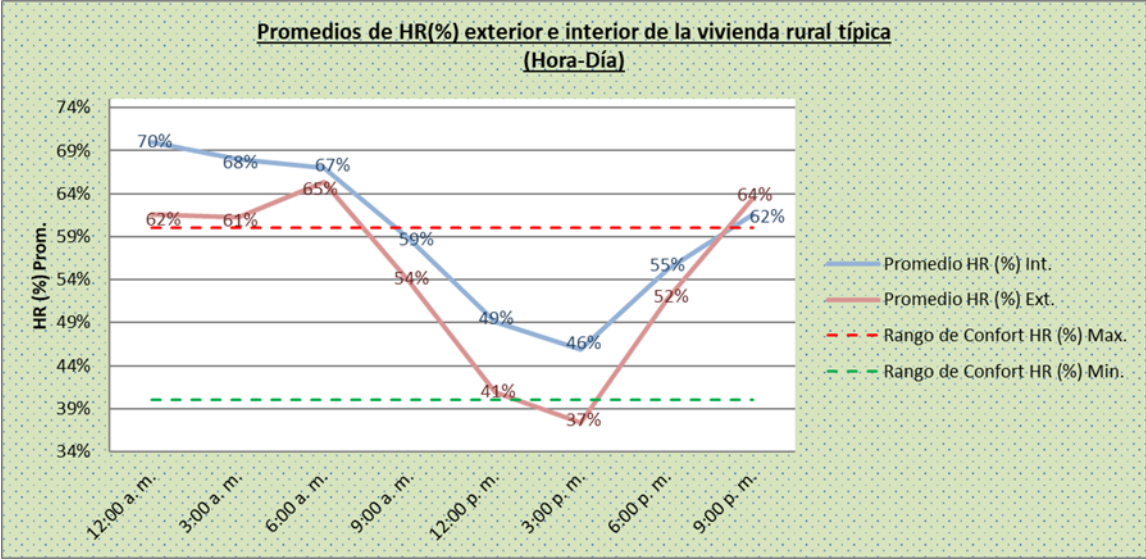


Nota. Tomado de la Tabla 26.

En la figura 73 se puede diferenciar el comportamiento de la humedad relativa tanto en el exterior (color rojo y similares) como en el interior de la VRT (color azul y similares). Gráficamente, se puede advertir que, la HR externa es más heterogénea y variable, con HRe de 26% que está muy por debajo del mínimo y 86% que está muy por encima del máximo de la HR de confort. Claro está que la HR externa, especialmente entre las 9:00 am a 12:00 pm y de 6:00 pm a 9:00 pm se encuentra en el rango de confort, pero en otros horarios se ubica fuera de este rango, por lo que es una HR variable. Sin embargo, la HR al interior de la VRT se comporta más homogénea, aproximándose mejor al rango de confort (40% - 60%), en comparación a la HR externa. Se puede advertir, que la HRi, en el lapso de 9:00am a 9:00 pm se comporta más estable y por ende favorable a la persona que la habita.

Figura 74

Promedios de la Humedad Relativa (%) en el exterior e interior de la vivienda rural típica Viluyo - Puno, 2022



En la figura 74 se observa, comparativamente, los promedios de Humedad Relativa en el exterior e interior de la vivienda rural típica. Se advierte que la HR externa esta entre 37% y 65% y, por ello, se comporta más heterogéneamente. Por otro lado, solo en el horario 8:00 am a 2:00 pm y de 4:00 pm a 9:00 pm se ubica en el rango de la HR de confort, que según ASHRAE la HR óptima para generar confort térmico esta entre 40% y 60%. Sin embargo, de acuerdo a la misma figura 657, se advierte que la humedad relativa en el interior de la VRT es más homogénea y se aproxima mejor y por periodo más prolongado a la zona de confort. Se advierte también que no hay HR por debajo del 40% y que por el lapso de 9:00 am hasta aproximadamente 9:00 pm la HR se presenta de forma prolongada en el rango de confort, lo que son indicadores que una mejor HR y por ende de un mejor confort térmico al interior de la VRT de adobe.

C. Resultados de la medición de temperatura (T°C) en el exterior e interior del Módulo VRB con estrategia solar pasiva

Tabla 20

Resultados de la medición de temperatura en el ambiente exterior e interior de la casa rural típica, Viluyo- Puno, 2022

FECHA	HORA	12:00 a. m.	3:00 a. m.	6:00 a. m.	9:00 a. m.	12:00 p. m.	3:00 p. m.	6:00 p. m.	9:00 p. m.
Promedio	T° Int.	14.5	13.6	13.8	19.1	24.9	26.1	20.7	17.4
	T° Ext.	9.5	8.2	7.6	14.6	22.0	21.1	14.8	12.0
Rango de Confort	T° Max.	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
	T° Min.	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
25-Feb	T° Int.	15.1	14.9	15.7	22.8	25.9	24.7	23.2	20.4
	T° Ext.	9.0	8.2	7.0	11.0	16.3	15.7	11.3	9.3
26-Feb	T° Int.	14.8	9.7	12.3	15.8	27.0	28.1	19.0	11.3
	T° Ext.	8.0	5.2	6.1	9.5	14.6	15.3	10.2	9.1
04-Mar	T° Int.	14.8	13.8	12.7	15.6	25.7	30.1	21.5	19.5
	T° Ext.	11.4	9.8	6.9	21.9	22.2	25.0	20.4	15.2
05-Mar	T° Int.	12.3	11.9	12.8	17.9	23.6	24.9	16.4	14.6
	T° Ext.	10.9	8.9	8.7	17.0	29.6	21.9	17.4	13.3
11-Mar	T° Int.	10.5	10.7	9.9	17.0	25.1	28.3	21.8	16.5
	T° Ext.	9.7	9.0	10.9	16.0	27.2	25.6	13.0	12.3
12-Mar	T° Int.	16.0	15.7	15.1	20.5	21.2	21.7	19.5	17.3
	T° Ext.	9.1	8.1	7.0	17.2	19.6	23.3	20.1	17.0
18-Mar	T° Int.	15.8	16.2	15.8	21.8	25.6	26.1	21.9	18.0
	T° Ext.	9.2	8.3	8.1	15.1	21.1	20.8	17.7	14.1
19-Mar	T° Int.	16.3	15.6	15.9	21.7	24.8	25.1	22.3	21.5
	T° Ext.	8.5	7.8	6.3	8.8	25.3	21.1	8.5	5.4

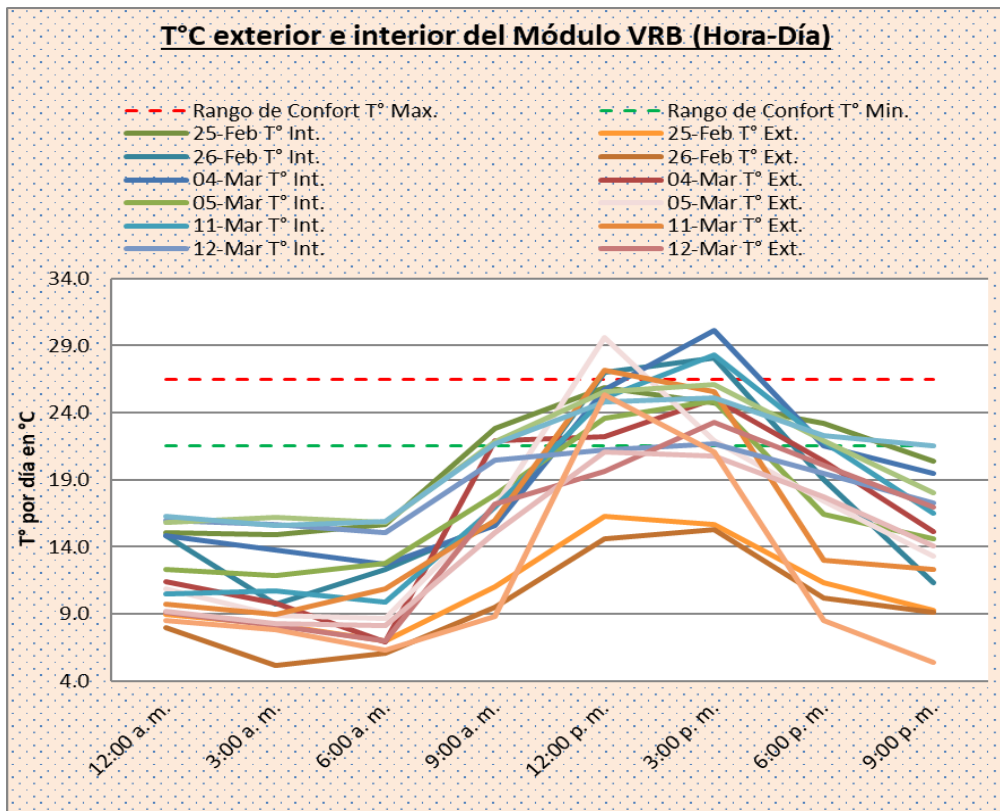
Nota. Elaboración propia con base a la Ficha de medición

La tabla 27 presenta el consolidado de las mediciones de temperatura realizadas en el exterior e interior de la maqueta del Módulo VRB durante los meses de febrero y marzo del 2022 con la finalidad de observar el comportamiento del confort térmico en el interior del módulo.

Los datos recogidos demuestran que la temperatura externa es variable, y esto debido a que, en la zona altoandina, especialmente en Puno, en esta temporada de verano, existe presencia de fenómenos climatológicos, como la lluvia, granizo e insolación, que hacen que la temperatura sea muy variable. Sin embargo, la temperatura al interior del módulo sería más favorable, si se considera los parámetros de la norma internacional UNE-EN ISO 7730 establece, 21.5°C a 26.5°C, como el rango de confort. Para mejor comprensión véase la figura 75.

Figura 75

Temperatura exterior e interior del módulo VRB, Viluyo- Puno, 2022



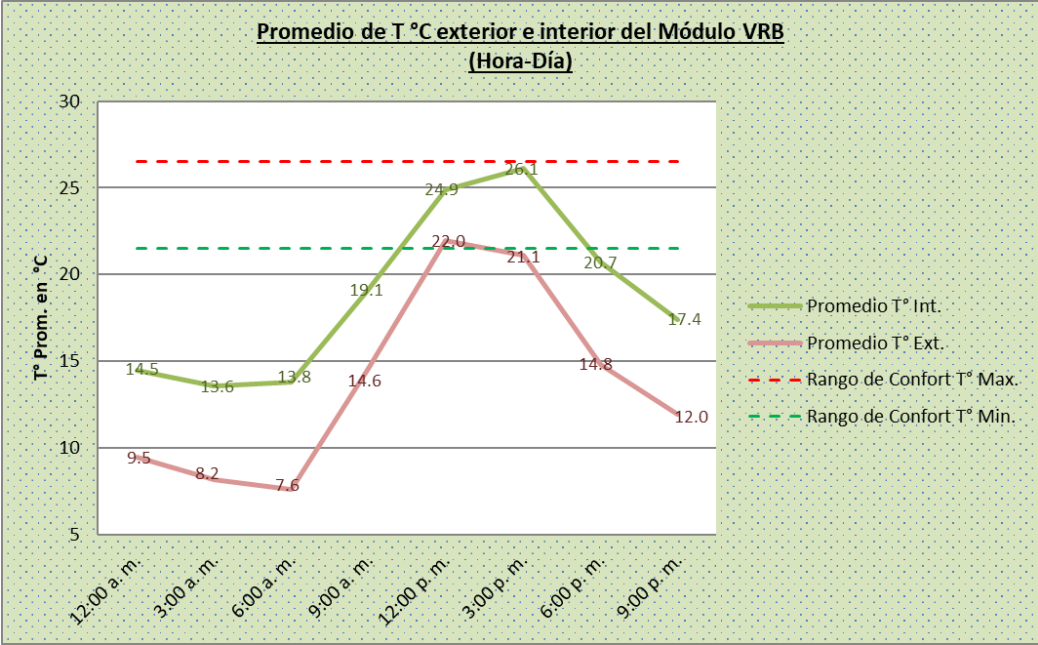
Nota. Tomado de la Tabla 27.

En la figura 75, se advertir el comportamiento de la temperatura durante los ocho días de medición, tanto en el exterior (color rojo y similares) como en el interior del Módulo VRB (color azul y similares). Observar que, la temperatura externa es más heterogénea, con temperaturas muy variables desde 5°C a 29.6°C. se observa también que T_e tiende más hacia la temperatura baja, es decir, frío; solo desde 12:00 pm a 3:00 pm alcanza una temperatura de confort.

Sin embargo, la temperatura interna del Módulo VRB, se comporta más homogénea y se aproxima más y por un periodo prolongado de tiempo a la zona de la temperatura de confort, que va desde las 9:00 am hasta 9:00 pm. También es necesario anotar que, si bien no se logra la temperatura confort durante todo el día, la temperatura en el interior del Módulo logra acercarse más al rango de la temperatura de confort.

Figura 76

Promedio comparativo de la temperatura exterior e interior del módulo VRB, Viluyo- Puno, 2022



Nota. Tomado de la Tabla 27.

En la figura 76, se visualiza comparativamente el comportamiento de las temperaturas promedio por día en el exterior e interior del Módulo VRB y las diferencias entre ellas. Gráficamente, se observa que, la temperatura en el exterior se encuentra más alejado de la zona de confort térmico, siendo la temperatura más extrema o crítica 7.5°C, solo entre 12:00 pm a 3:00 pm logra ligeramente insertarse en la zona de confort con 21°C y 22°C. Sin embargo, la temperatura promedio en el interior del Módulo VRB es notablemente más favorable, logrando insertarse en la zona de confort desde las 9:00 am hasta las 6:00 pm, además de aproximarse, durante todo el día, mejor a la zona de confort en comparación con la temperatura promedio exterior. En suma, la temperatura al interior del Módulo VRB más confortable que en exterior.

D. Resultados de la medición de la Humedad Relativa (HR%) en el exterior e interior del Módulo en la vivienda rural aplicando sistema solar pasivo

Tabla 28

Resultados de la medición de Humedad Relativa en el exterior e interior del Módulo VRB, Viluyo- Puno, 2022

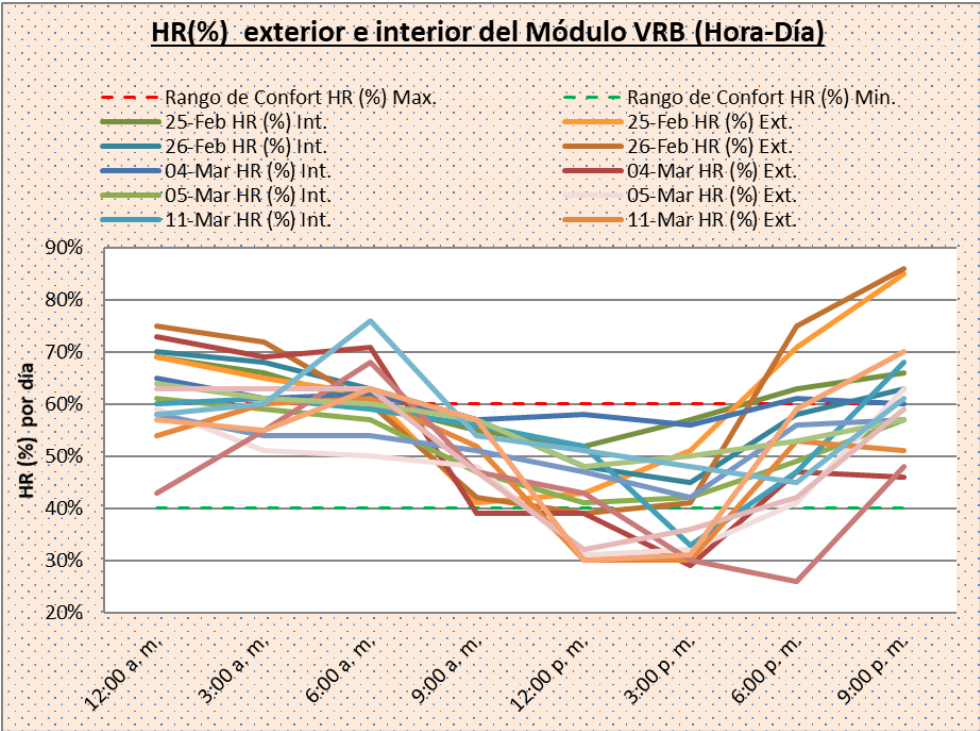
FECHA	HORA	12:00 a. m.	3:00 a. m.	6:00 a. m.	9:00 a. m.	12:00 p. m.	3:00 p. m.	6:00 p. m.	9:00 p. m.
Promedio	HR (%) Int.	63%	61%	61%	54%	50%	47%	54%	61%
	HR (%) Ext.	62%	61%	62%	47%	36%	35%	52%	64%
Rango de Confort	HR (%) Max.	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
	HR (%) Min.	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
25-Feb	HR (%) Int.	69%	66%	60%	55%	52%	57%	63%	66%
	HR (%) Ext.	69%	65%	62%	41%	43%	51%	71%	85%
26-Feb	HR (%) Int.	70%	68%	63%	57%	48%	45%	58%	63%
	HR (%) Ext.	75%	72%	60%	42%	39%	41%	75%	86%
04-Mar	HR (%) Int.	65%	61%	62%	57%	58%	56%	61%	60%
	HR (%) Ext.	73%	69%	71%	39%	39%	29%	47%	46%
05-Mar	HR (%) Int.	61%	59%	57%	47%	41%	42%	49%	57%
	HR (%) Ext.	59%	51%	50%	48%	31%	32%	41%	63%
11-Mar	HR (%) Int.	60%	61%	59%	56%	52%	33%	47%	68%
	HR (%) Ext.	54%	60%	61%	52%	30%	30%	53%	51%
12-Mar	HR (%) Int.	58%	54%	54%	51%	47%	42%	56%	57%
	HR (%) Ext.	43%	55%	68%	47%	43%	30%	26%	48%
18-Mar	HR (%) Int.	64%	61%	60%	57%	48%	50%	53%	57%
	HR (%) Ext.	63%	63%	63%	47%	32%	36%	42%	59%
19-Mar	HR (%) Int.	58%	60%	76%	54%	51%	48%	45%	61%
	HR (%) Ext.	57%	55%	63%	57%	30%	31%	59%	70%

Nota. Elaboración propia con base a la Ficha de medición.

En la tabla 28 se observa el consolidado de las mediciones de la humedad relativa en el exterior e interior del Módulo VRB durante los meses de febrero y marzo, mediciones hechas en horas de la mañana y de la noche a fin de observar el comportamiento de la humedad relativa en el interior de dicha vivienda durante el día. Al igual que la temperatura externa, la HR externa (HRe) se comporta de forma más variable que la HR interna (HRi). Sin embargo, esto debe ser analizado bajo los parámetros de la norma internacional ASHRAE – Estándar 55 que precisa que la Humedad Relativa de confort es aquella que se ubica entre 40% y 60%. Para evaluar el comportamiento de la HR bajo estos estándares se elaboró la siguiente figura.

Figura 77

Humedad Relativa (%) exterior e interior del Módulo VRB Viluyo- Puno, 2022

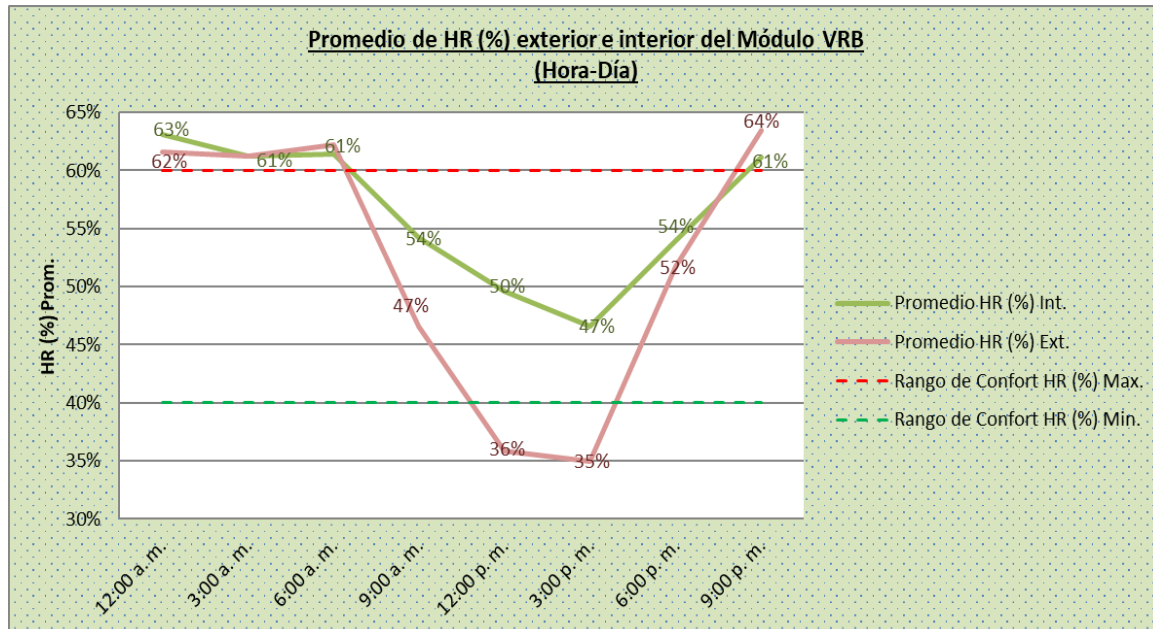


Nota. Tomado de la Tabla 28.

En la figura 77 se puede diferenciar el comportamiento de la humedad relativa tanto en el exterior (color rojo y similares) como en el interior del Módulo VRB (color azul y similares). Gráficamente, se puede advertir que, la HR externa es muy heterogénea y variable, con HRe que van desde 26%, muy por debajo del mínimo, hasta 86% que está muy por encima del máximo de la HR de confort. Claro está que la HR externa, especialmente entre las 9:00 am a 12:00 pm y de 6:00 pm a 9:00 pm se encuentra en el rango de confort, pero en otros horarios se ubica fuera de este rango, por lo que es una HR variable. Sin embargo, la HR al interior del Módulo VRB se comporta más homogénea, aproximándose mejor al rango de confort (40% - 60%), en comparación a la HR externa. Se puede advertir, que la HRi, casi durante todo el día, se comporta estable y dentro del rango de la zona de confort térmico.

Figura 78

*Promedios de la Humedad Relativa (%) en el exterior e interior del Módulo VRB
Viluyo- Puno, 2022*



En la figura 78 se observa, se puede diferenciar claramente el comportamiento promedio de la Humedad Relativa en el exterior e interior del Módulo VRB. Se advierte que la HR externa está entre 37% y 65% y, por ello, se comporta más heterogéneamente y más alejado de la zona de confort, pues según ASHRAE la HR óptima para generar confort térmico esta entre 40% y 60%. Sin embargo, de acuerdo a la misma figura 78, se advierte que la humedad relativa en el interior del Módulo VRB es más homogénea y se aproxima mejor y por periodo más prolongado a la zona de confort. Se advierte, al igual que la HRi de la vivienda VRT que, tampoco hay HR por debajo del 40%, por el contrario, la HRi del Módulo se ubica en el rango de confort térmico por un periodo más prolongado, de 6:00 am hasta las 9:00 pm.

E. Comparativo entre los promedios de Humedad Relativa del exterior, interior de la vivienda rural típica e interior del Módulo de VRB.

Tabla 29

Comparativo de promedios entre las Humedades Relativas del exterior, interior de la vivienda rural típica e interior del módulo de VRB, Viluyo – Puno, 2022

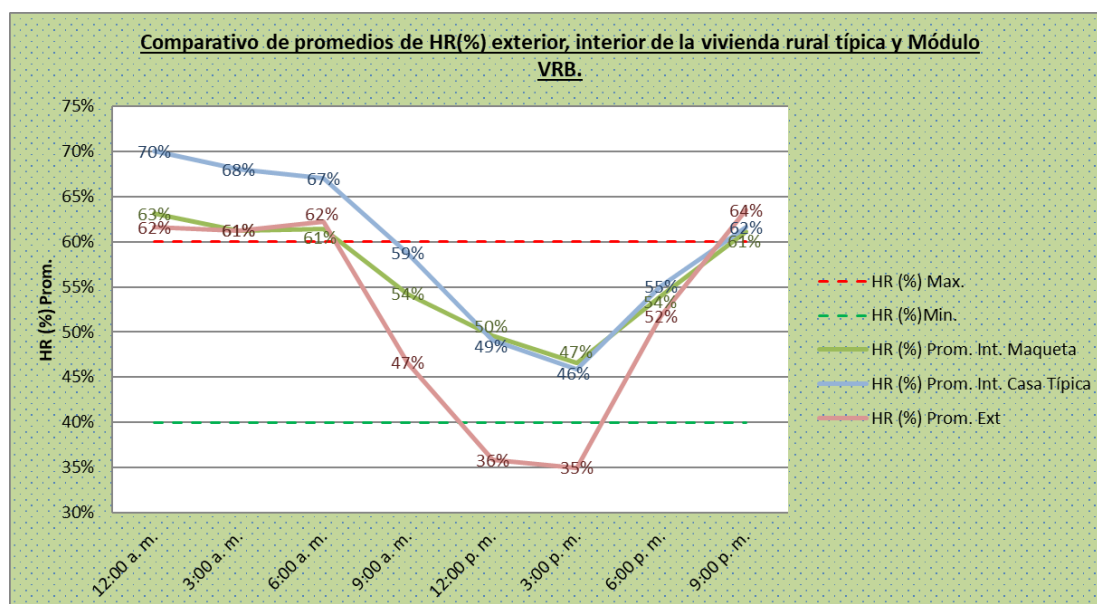
Horas	12:00 a. m.	3:00 a. m.	6:00 a. m.	9:00 a. m.	12:00 p. m.	3:00 p. m.	6:00 p. m.	9:00 p. m.
HR (%) Max.	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%
HR (%) Min.	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%
HR (%) Prom. Int. Maqueta	63%	61%	61%	54%	50%	47%	54%	61%
HR (%) Prom. Int. Casa Típica	70%	68%	67%	59%	49%	46%	55%	62%
HR (%) Prom. Ext	62%	61%	62%	47%	36%	35%	52%	64%

Nota. Elaboración propia con base a la Ficha de medición.

En la tabla 29 se presenta los promedios de las humedades relativas medidas en el exterior, interior de la vivienda VRT e interior del Módulo de VRB, a fin de poder determinar si el Módulo de VRB diseñado ofrece un confort térmico que garantice comodidad y calidad de vida a los pobladores de la zona altoandina, en comparación con la temperatura del grupo control (vivienda VRT).

Figura 79

Comparativo de promedios entre las Humedades Relativas del exterior, interior de la vivienda rural típica e interior del módulo de VRB, Viluyo – Puno, 2022



Gráficamente, se advierte que, la humedad relativa externa es más variable y tiende más hacia la humedad relativa seca, llegando al 35%. Por otro lado, si bien la HR de

la vivienda rural típica se comporta mejor respecto a la HR externa, insertándose en la zona de confort; la Hr del módulo (color verde) resulta ser más ventajosa, porque se inserta por un periodo más prolongado en la zona de confort y porque se aproxima mejor a esta zona. Por ende, la Hr del Módulo tiene mejor humedad relativa de acuerdo a los parámetros de la norma ASHRAE.

Tabla 30

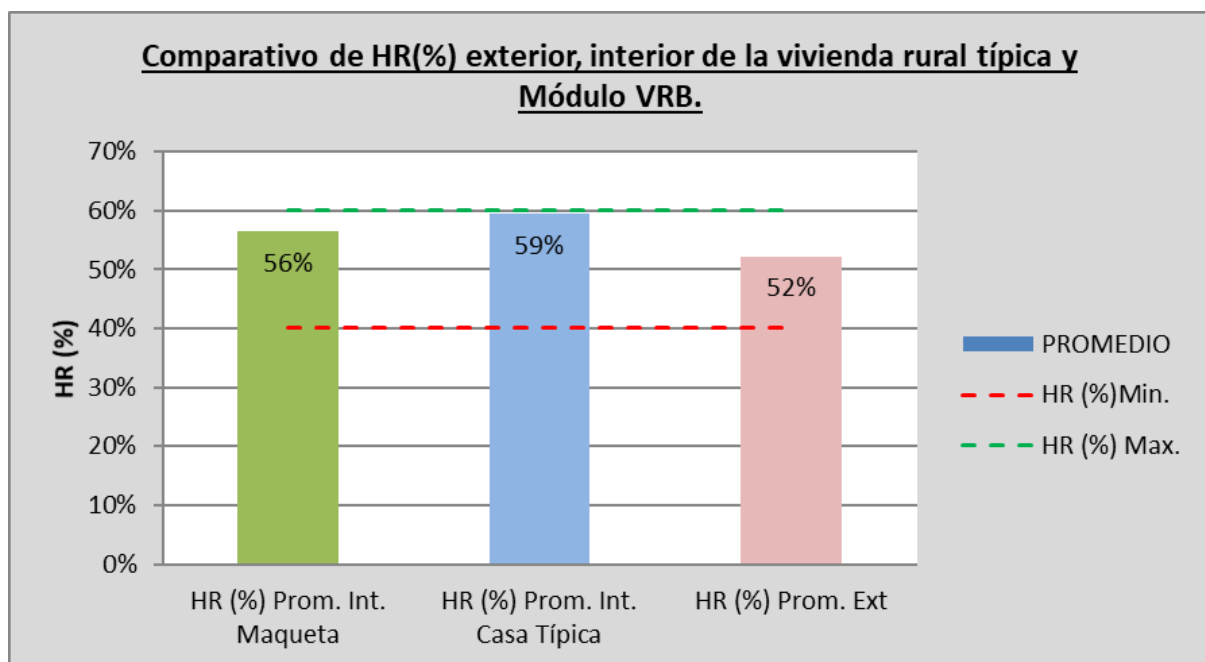
Diferencia de Humedades Relativas

PROMEDIO	PROMEDIO	HR (%) Min.	HR (%) Max.
HR (%) Prom. Int. Maqueta	56%	40%	60%
HR (%) Prom. Int. Casa Típica	59%	40%	60%
HR (%) Prom. Ext	52%	40%	60%

Nota. Elaboración propia con base a la Ficha de medición.

Figura 80

Diferencia porcentual de temperaturas entre el exterior



De acuerdo a la tabla 30 y figura 80, se puede observar que la Humedad Relativa externa alcanza 52%. Respecto de la Humedad relativa exterior, la HRi de la vivienda rural típica llega al 59%, muy cerca del extremo superior, en tanto la HRi del Módulo de VRB solo alcanza el 56%, siendo esto más cercano al eje del rango de la humedad relativa de confort que es igual a 50%. La HRi del Módulo de VRB se

ubica más cerca al rango de la humedad de confort que, según la norma internacional ASHRAE ESTANDAR 55 se alcanza cuando se tiene una HR (%) entre 40% y 60%.

F. Comparativo aritmético y porcentual entre los promedios de Temperatura (T°C) del exterior, interior de la vivienda rural típica e interior del Módulo de VRB.

Tabla 31

Comparativo de promedios entre las temperaturas del exterior, interior de la vivienda rural típica e interior del módulo de VRB, Viluyo – Puno, 2022

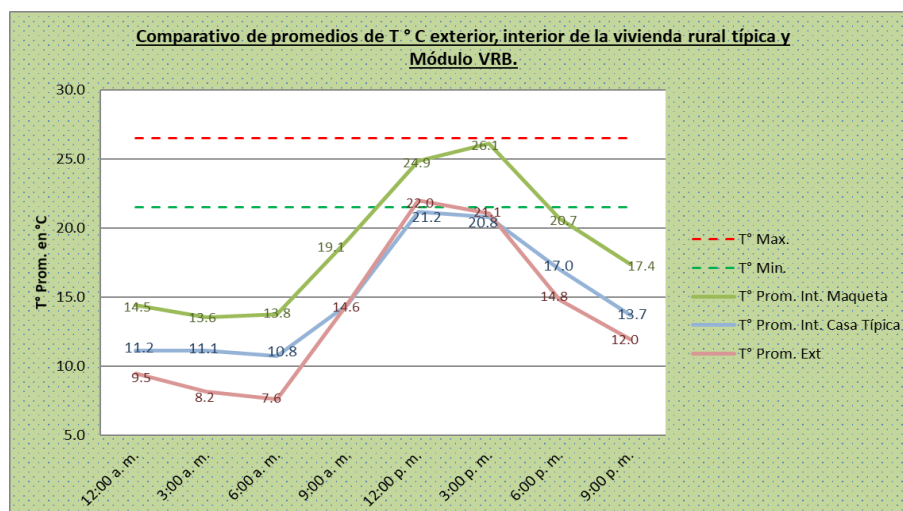
Horas	12:00 a. m.	3:00 a. m.	6:00 a. m.	9:00 a. m.	12:00 p. m.	3:00 p. m.	6:00 p. m.	9:00 p. m.
T° Max.	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5	26.5
T° Min.	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
T° Prom. Int. Maqueta	14.5	13.6	13.8	19.1	24.9	26.1	20.7	17.4
T° Prom. Int. Casa Típica	11.2	11.1	10.8	14.5	21.2	20.8	17.0	13.7
T° Prom. Ext	9.5	8.2	7.6	14.6	22.0	21.1	14.8	12.0

Nota. Elaboración propia con base a la Ficha de medición.

En la tabla 31 se presenta los promedios de las temperaturas medidas en el exterior, interior de la vivienda VRT e interior del Módulo de VRB, a fin de poder determinar si el Módulo de VRB diseñado ofrece un confort térmico que garantice comodidad y calidad de vida a los pobladores de la zona altoandina, en comparación con la temperatura del grupo control (vivienda VRT).

Figura 81

Comparativo de promedios entre las temperaturas del exterior, interior de la vivienda rural típica e interior del módulo de VRB, Viluyo – Puno, 2022



En la figura 81, gráficamente, se advierte que, la temperatura relativa externa es más variable y tiende más hacia la humedad relativa seca, llegando a 7.6°C, que es una temperatura fría. Similar temperatura se puede advertir con la de la vivienda rural típica, que si bien mejora su temperatura respecto a la T°C externa, su temperatura promedio no logra insertarse en la zona de confort (21.5°C – 26.5°C, según norma ISO 7730). Es la temperatura interior del Módulo VRB la que ofrece mejores condiciones de confort térmico, debido a que se inserta en la zona de confort, sobre todo entre las 9:00 am a 6:00 pm y, se aproxima mejor a la zona de confort.

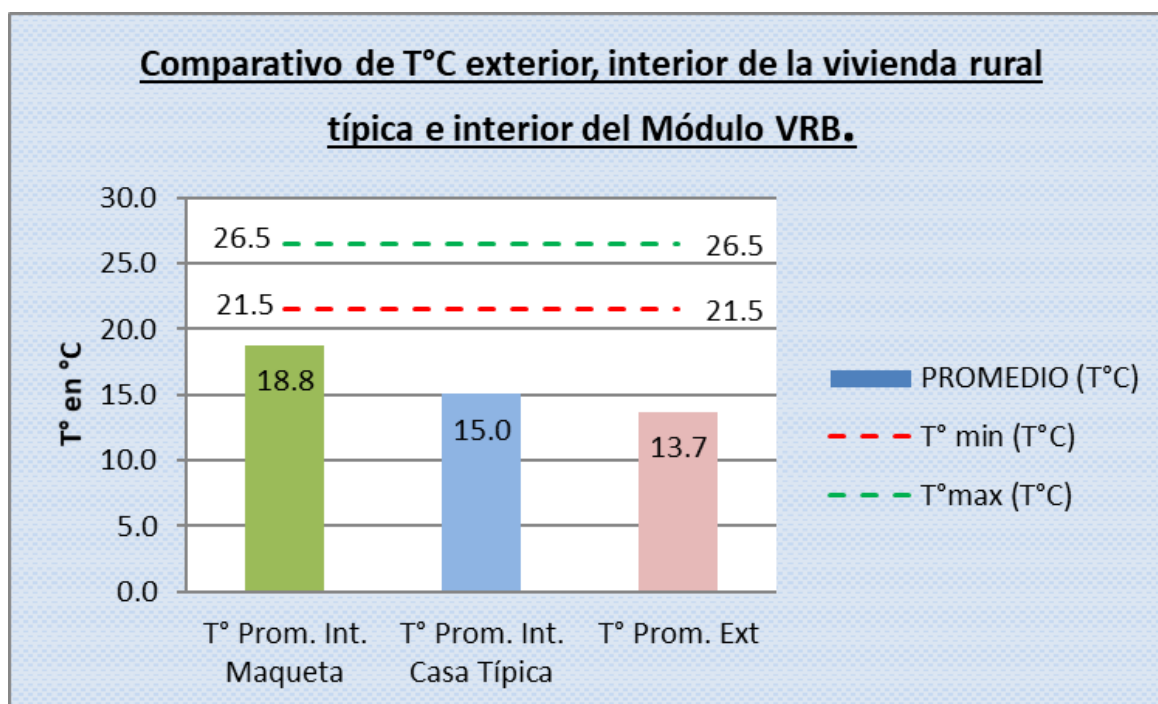
Tabla 32

Comparativo de temperaturas exterior, interior de VRT e interior de Módulo VRB

PROMEDIO	PROMEDIO (T°C)	T° min (T°C)	T°max (T°C)
T° Prom. Int. Maqueta	18.8	21.5	26.5
T° Prom. Int. Casa Típica	15.0	21.5	26.5
T° Prom. Ext	13.7	21.5	26.5

Figura 82

Comparativo entre temperatura exterior, interior de una VRT e interior del Módulo de VRB



Nota. Elaborado a partir de la Tabla 32.

En la tabla 32 y figura 82, el comparativo de las temperaturas del exterior (ambiente), interior de la vivienda VRT e interior del Módulo de VRB, y se observa que ninguna de las temperaturas halladas alcanza el rango de confort térmico; sin embargo, se observa también que la temperatura que mejor se aproxima al rango de confort es la generada al interior del Módulo de VRB con 18.8°C, mientras que la temperatura al interior de la Vivienda VRT solo llega a los 15°C, aunque es mejor que la temperatura externa que llega a 13.7°C como promedio de todas las mediciones efectuadas.

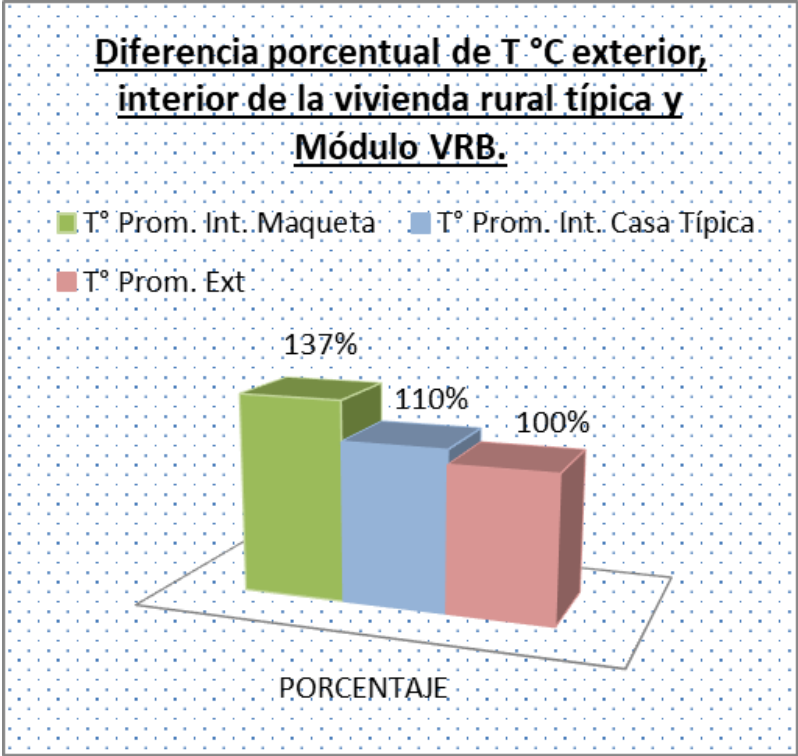
Tabla 33

Diferencia porcentual entre las temperaturas

PROMEDIO	PROMEDIO	PORCENTAJE
T° Prom. Int. Maqueta	18.8	137%
T° Prom. Int. Casa Típica	15.0	110%
T° Prom. Ext	13.7	100%

Figura 83

Diferencia porcentual de temperaturas entre el exterior e interior de la VRT y el Módulo VRB



De acuerdo a la tabla 33 y a la figura 83, se puede determinar que la temperatura que mejor se comporta de acuerdo a los parámetros de la norma internacional ISO 7730 es la temperatura interna del Módulo VRB. Lo anterior se sustenta en que, la temperatura interna de la vivienda rural típica de adobe logra mejorar la temperatura externa en un 10%, mientras que la temperatura interna del Módulo VRB mejora en un 37% respecto de la temperatura externa y en un 27% a la temperatura interna de la vivienda VRT de adobe. Esto es que, una vivienda rural empelando adobe, pero además adosándosele un sistema solar pasivo como es el invernadero resulta ser mejor estrategia climática para mejorar el confort térmico en las viviendas de las zonas altoandinas de Puno y del Perú.

El invernadero ayuda a regular la temperatura y la humedad relativa haciéndola más homogénea y favorable para el confort de la persona que la habita

3.2. Discusión

Respecto al objetivo específico ‘Determinar las características del sistema solar pasivo (invernadero) para lograr un confort térmico óptimo’ se ha logrado diseñar un sistema solar pasivo consistente en dos invernaderos adosados al este y oeste del Módulo de VRB, con la finalidad de almacenar calor en horas de la mañana y en horas de la tarde. Esta propuesta está respaldada por estudios como el realizado por Ximena Rivasplata (2018) quien diseñó un modelo de vivienda climatizada utilizando sistema bioclimático solar pasivo (doble vidrio e invernadero) para contribuir al confort térmico en el distrito de Calana, Tacna, Perú. La eficacia de los sistemas solares pasivos para calentar ambientes internos también fue estudiado por Miguel Ronald Corrales Picardo (2012) en Huaraz, Perú, quien examinó diferentes sistemas solares pasivos y determinó que para captar mejor la radiación solar las edificaciones deben orientar sus aperturas en fachadas opuestas con orientación Este-Oeste, para obtener un mejor rendimiento térmico, y que, la vivienda que tiene mejor comportamiento térmico, es la vivienda con sistema solar pasivo directo que utiliza ventanas y claraboyas; y luego las viviendas de patio cubierto.

Referente al objetivo específico ‘Determinar las propiedades del material adobe para diseñar el módulo de vivienda rural bioclimatizado’, se ha identificado que el adobe estándar elaborado con material de la zona tiene una conductividad térmica de 0.57, lo que significa que es una unidad de albañilería apto para la construcción de

viviendas cálidas. Es importante destacar que el adobe, por sus propiedades térmicas, ha sido objeto de varios estudios.

No hay duda que una vivienda de adobe resulta ser térmicamente más confortable que una vivienda hecha de ladrillo o bloqueta de cemento en la zona de estudio. Así lo ha demostrado el presente estudio al identificar una temperatura de 15°C al interior de la vivienda rural típica analizada cuando la temperatura externa fue de 13.7°C, dicho de otro modo, logró mejorar en un 10% la temperatura externa.

Respecto al resultado anterior, en el año 2017, Néstor Rolando Flores Cervantes, diseñó y construyó una vivienda de adobe acondicionada térmicamente con materiales térmicos (tejido de totora, muros y cielo raso revestido con yeso, puerta y ventana de madera, piso empedrado y entablado) para evaluar su confort térmico en zonas a más de 3800 m.s.n.m. en Puno, Perú. Como resultado obtuvo una temperatura promedio de 16°C. este resultado resulta superior, debido a que el estudio de Flores cervantes, además de adobe, empleó diversas técnicas de calentamiento.

Respecto al objetivo específico (análisis estructural del Módulo de VRB) es necesario precisar que en el presente estudio el análisis sísmico estructural arrojó valores de $\delta_i = 0.0022$ y $\delta_i = 0.004$ para los desplazamientos laterales del primer y segundo entrepiso en dirección X y $\delta_i = 0.00241$ y $\delta_i = 0.00463$ para los desplazamientos laterales del primer y segundo entrepiso en dirección Y del Módulo de VRB de dos pisos, los mismos son inferiores al límite de distorsión del entrepiso establecidos para una construcción de material Concreto Armado que es $\delta_i = 0.007$, según Tabla N° 11 de la Norma E.030.. Este resultado quiere decir que el Módulo de VRB diseñado con sistema aporticado de Concreto Armado y tabiquería de adobe y adosado con invernadero, además de caliente, resulta ser una vivienda segura y sísmicamente resistente. Con los resultados del presente estudio, queda resuelto el problema hallado por Guillermo Velarde (2014) que las viviendas de dos pisos de adobe existentes en Lima son sísmicamente vulnerables; entonces, para que una vivienda de este tipo soporte mayores aceleraciones, agrietamientos y resista esfuerzos y desplazamientos de un sismo severo, se sugiere sea reforzado estructuralmente con sistema de concreto armado.

Puno se encuentra en la zona 5: alto andina de acuerdo al Anexo 1 (A) de la clasificación de zonas bioclimáticas de la Norma EM.110. Esta zona bioclimática

presenta las siguientes características climáticas: temperatura anual media de 6°C, una HR media entre 30 a 50%, una velocidad del viento en el sur de 7m/s, una radiación solar de 5KWh/m² y una precipitación anual de <150 a 2500 mm. Estas y otras características climáticas se pueden apreciar en la tabla 34.

Tabla 34

Características climáticas de la zona altoandina

N°	Características climáticas	Zona 5 ALTOANDINA
1	Temperatura media anual	6°C
2	Humedad relativa media	30 a 50%
3	Velocidad del viento	Centro: 6m/s; Sur: 7m/s; Sureste: 9m/s
4	Dirección predominante del viento	S-SO
5	Radiación solar	5 KWh/m ²
6	Horas de sol	Centro: 8 a 10 h; Sur: 8 a 10 h
7	Precipitación anual	<150 a 2500 mm
8	Altitud	4000 a 4800 msnm
9	Equivalencia en la clasificación Koppen	ETH

Nota. Norma EM.110, anexo N° 1.

El objetivo general del presente estudio fue diseñar el Módulo VRB para mejorar las condiciones de habitabilidad de los ambientes interiores de una vivienda rural ubicada a más de 3800 m.s.n.m., es decir mejorar la temperatura y humedad relativa internas, así como dotar de una vivienda segura y digna, objetivos que se han logrado en esta investigación.

Los resultados de la evaluación de los parámetros bioclimáticos indican que mientras la Humedad Relativa externa alcanza 52%, la HRi de la vivienda rural típica llega al 59%, y la HRi del Módulo de VRB a 56%, siendo esto más cercano al eje del rango de la humedad relativa de confort que según norma Estándar 55 ASHRAE está entre 40% y 60%. Por otro parte, mientras que el factor bioclimático Temperatura en el exterior llega a los 13.7°C, en el interior de la Vivienda rural

típica de adobe a 15°C y en el interior del Módulo de VRB a 18.8°C.

Según el estudio de Mamani Condori (2017), una vivienda bioclimatizada no debe tener una Humedad relativa mayor a 60% durante el día ni debe ser menor a 40% durante la noche, recomendándose alcanzar una HR del 50%.

De acuerdo a los parámetros de la norma ISO 7730, ninguna de ellas alcanza la temperatura de confort que está entre 21.5°C y 26.5°C; sin embargo, la temperatura interna que mejor se acerca a la zona de confort es la del Módulo VRB que mejora en un 37% respecto de la temperatura externa y en 27% respecto de la vivienda de adobe, en tanto la de la vivienda rural típica de adobe solo en un 10% respecto a la temperatura externa. Con estos datos, se puede deducir que una vivienda rural empleando adobe y sistema solar pasivo como el invernadero mejora el confort térmico.

Similar resultado encontró el estudio de Nativio Acero (2016) al evaluar y diseñar una vivienda rural bioclimática en la Comunidad Campesina de Ccopachullpa del distrito de Ilave - Perú, en un área de 157.02 m² de 3 ambientes (uno de 19.90m² y dos 13.83m²), con muros de adobe de 38cm de espesor, techo de dos aguas con planchas de calamina y seis claraboyas translúcidas de policarbonato, cielo raso de triplay, pisos aislados térmicamente con grava, madera y planchas de poliestireno, puerta de madera contra placado, con adosando de invernadero fitotoldo de 13.94m x 2.80m x 1.74m en el muro de los dormitorios con orientación norte y otro en el pasadizo en la parte frontal. Esta vivienda rural originó un incremento de la temperatura interna respecto a la exterior, alcanzándose 18°C. sin embargo, con el Módulo de VRB con invernadero este – oeste se logra una temperatura mayor, 18.8°C.

El estudio Edilson Huanca Salazar, en 2018, que consistió en desarrollar un prototipo de vivienda rural bioclimatizada a base de adobe y colector solar para mejorar el confort térmico en zonas frías en la región Puno, encontró que la maqueta elaborada a escala (1:10) corroboró que el confort térmico calculado en el software, arroja una diferencia de solo 2°C en comparación al modelamiento teórico en el Software Ecotect.

También es necesario contrastar los resultados con los de Hugo A. Ccama-Condori (2021) quien buscó estimar la sensación térmica en relación al confort térmico en ambientes escolares en Pacaje, zona altoandina de Puno, con temperaturas

inferiores a 0°C, ubicada a 4345 m.s.n.m. El aula convencional, con muros y tabiques de albañilería con tarrajeo de cemento-arena, cobertura de calamina galvanizada, cielo raso de material triplay de 4mm, pisos de madera machihembrado; ventanas de vidrio simple de 2" y puerta de madera, arrojó 8.6°C, mientras que el del aula modificada con muros de albañilería y cielo raso tratados con poliestireno expandido de 2" revestido con placa de yeso; el piso tratado con tecnopor de 2" y acabado de madera machihembrada, ventanas con vidrios dobles, arrojó 12,82°C. habiendo una diferencia significativa.

Finalmente, aunque no tiene relación directa, existe el estudio de Leonel Suasaca Pelinco y otros, realizado en Puno – Perú en el año 2019 con la finalidad de evaluar la temperatura y humedad relativa al interior de una vivienda construida con ‘paca de avena seca’ en los muros. Los parámetros se midieron por 21 días en el mes de octubre a las 5:00 am y 7:00 pm. Los resultados fueron los siguientes: la vivienda construida a base de pacas de avena seca se mostró con mayor confort térmico que las viviendas tradicionales del altiplano en 1.1°C. a las 5:00 am, mientras que en exterior de la vivienda de paca de avena la temperatura mínima era 0.1°C, en el interior la mínima era de 9.7°C, siendo superior en 1.1°C a la vivienda típica de la región altoandina estudiada A las 7:00 P.M, en tanto en el exterior la temperatura tenía una mínima de 8.7°C y una máxima de 10.2°C; en el interior, la mínima era de 17.5°C y la máxima de 18.3°C. Respecto a la humedad relativa, en la vivienda de paca de avena seca, la HR máximo era de 47% a la 5:00 A.M y de 43% a las 7:00 P.M, permitiendo con ello disminuir la humedad al interior de la vivienda construida y, por ende, disminuir las enfermedades respiratorias.

3.3. Conclusiones

El Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado diseñado con adobe y estrategia solar pasiva (invernadero) resulta eficaz para mejorar el confort térmico de las habitaciones del poblador que habita a más de 3800 m.s.n.m. en la zona altoandina de Puno - Perú, mejorando la temperatura interna en un 37% respecto de la temperatura exterior y en un 27% respecto de la casa típica de adobe de la zona, en tanto la Humedad Relativa (%) alcanza 56% ubicándose dentro del rango de confort establecido por la norma ASHRAE ESTANDAR 55 que es como mínimo 40% y como máximo 60%.

Aplicando los criterios arquitectónicos como ubicación, orientación y geometría

fue posible diseñar el Módulo de Vivienda Rural Bioclimatizado para mejorar el confort térmico en los ambientes interiores.

Se logró diseñar un sistema solar pasivo, invernadero, con criterio arquitectónico que, para un mejor aprovechamiento de la radiación solar, consta de dos invernaderos adosados al Módulo de VRB, ubicados a este y oeste del mismo respectivamente, a fin de captar la energía solar por la mañana y por la tarde, garantizando así el confort térmico en la vivienda.

Se elaboró un adobe con materiales de la zona con propiedades físicas, mecánicas y térmicas adecuadas que permitieron diseñar el módulo de vivienda rural bioclimatizado con un confort térmico óptimo. El adobe a emplearse en la construcción del módulo de VDR alcanzó una resistencia de 19.3557 kg/cm², siendo este superior al valor exigido por la Norma E.080 – Adobe, que es 12 kg/cm², eso quiere decir que la unidad elaborada es resistente a las fuerzas de compresión.

El estudio de mecánica de suelos permitió un óptimo diseño de cimentaciones para el Módulo de vivienda rural bioclimatizado.

El módulo de vivienda rural bioclimatizado, diseñado con adobe de la zona y sistema solar pasivo como el invernadero, además de ser térmicamente confortable, resulta ser una vivienda segura sísmicamente, debido a que el análisis sísmico estático arrojó valores de $\delta_i = 0.0022$ y $\delta_i = 0.004$ para los desplazamientos laterales en dirección X y $\delta_i = 0.00241$ y $\delta_i = 0.00463$ en dirección Y, valores que están por debajo del límite de distorsión del entrepiso establecido por la Norma E.030, que es $\delta_i = 0.007$.

Se logró diseñar un módulo de vivienda rural capaz de ofrecer confort térmico a los habitantes de la zona altoandina de Puno-Perú, consistente en un muro de captación de energía solar orientado al norte, dos invernaderos adosados al este y oeste del módulo de VRB, con igual, con cuatro ventanas en el este distribuidos equitativamente en los dos niveles, de igual forma en el oeste para la captación de la energía solar en la mañana y en la tarde, un muro de inercia en el sur a fin de evitar la pérdida de calor por las noches, techo de calamina y cielo raso enlucido con yeso, con tabiquería de adobe de la zona en los muros a fin de que almacene el calor captado por el sistema solar pasivo, puertas y ventanas con marco de madera, piso de concreto pulido, enlucido interior y exterior con yeso y, para ofrecer

seguridad sísmica, sistema estructural aporticado de concreto armado. En base a estas cualidades definidas, se elaboró una maqueta del módulo de vivienda rural bioclimatizado a esc. 1:10 que permitió determinar los parámetros bioclimáticos como temperatura y humedad relativa.

3.4. Sugerencias

Se espera que el Módulo VRB pueda constituirse en una alternativa de construcción en las zonas altoandinas de Perú, por lo que se recomienda al Ministerio de Vivienda del Perú, a través del Programa Nacional de Vivienda Rural y otros programas sociales, acoger este tipo de vivienda caliente a fin de mejorar, no solo el confort térmico de las viviendas rurales, sino la calidad de vida, ya que el poblador del medio rural requiere vivienda digna acorde al desarrollo de la ciencia y tecnología.

Se sugiere que las construcciones de viviendas rurales de dos pisos de adobe en la región Puno y el resto de Perú, deben ser diseñados y construidos con sistema de pórticos de concreto armado para otorgarle a la vivienda seguridad sísmica ya que la región Puno se ubica en la Zona sísmica 3.

REFERENCIAS

- ABANTO VIGO, J. y MONTENEGRO MONT, E. Los efectos del Proyecto “K’oñichuyawasi Casas Calientes y Limpias” en la salud y calidad de vida de las familias del distrito de Langui en Cusco: Un estudio de caso. 2016. Tesis para optar el grado de Magíster en Gerencia Social. Pontificia Universidad Católica del Perú. shorturl.at/bdPW5
- ACERO CLAVITEA, N. J. Evaluación y diseño de vivienda rural bioclimática en la comunidad campesina de Ccopachullpa del distrito de Ilave. 2016. Tesis presentada para optar el título profesional de ingeniero agrícola. Puno.
- ANDERSON, B. Guía fácil de la energía solar pasiva. 1984. México DF., México: Editorial Gustavo Gili.
- Andina.pe. Priorizan construcción de “casitas calientes” para combatir heladas en Tacna. (15 de febrero de 2018). shorturl.at/aLUZ6
- ARÉVALO GARCÍA, J. F. Modelo de vivienda sostenible para el área rural del Cerro Alux San Pedro Sacatepéquez, Guatemala. 2013. Para obtener el título de arquitecto. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- BASTERRA, A. y JOVÉ, F. La construcción con tierra cruda hoy. 2001. España: Revista de Arquitectura y construcción.
- BOLAÑOS RODRÍGUEZ, J. Resistencia a compresión, flexión y absorción del adobe compactado con adición de goma de tuna. 2016. Tesis de pregrado. Universidad Privada del Norte – Perú. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10482>
- BREAK SYSTEMS S.L. (2014). Transmitancia térmica en ventanería. <http://qssystemsaluminio.com/transmitancia-termica/>
- BUSTILLOS YAGUANA, D.A. Calidad del Ambiente Interior de las Edificaciones Residenciales Urbanas de la Ciudad de Cuenca: Determinación de Estándares de Confort. 2017. Tesis de grado de maestría, Universidad de Cuenca – Ecuador. shorturl.at/cSZ13
- CABEZAS, E., ANDRADE, D., & TORRES, J. Introducción a la metodología de la investigación científica. 2018. Ecuador: F. A. ESPE.
- CCAMA-CONDORI, H.A. Sensación de confort térmico en ambientes educativos en la zona altoandina de Puno. 2021. Tesis doctoral, Universidad San Martín de Porres. shorturl.at/gqSW4
- CHAIÑA FLORES, I. Propuesta de vivienda rural saludable en el Centro Poblado de Accaso del distrito de Pilcuyo El Collao Ilave Puno. Ciencia & Desarrollo. 2017, vol. 16,21(2) 73-84. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna. shorturl.at/BLRV3
- CHARAJA, F. El MAPIC en la investigación. 2019. Puno: SERIO EIRL.

- CISNEROS, C. Perú: Diseñan viviendas bioclimáticas contra heladas en Puno. Ciencia Al Dia. (13 de diciembre de 2016). Disponible en shorturl.at/ciQX7
- CISNEROS MENDEZ, C. Viviendas bioclimáticas contra heladas en Puno. Cienciactiva – Concytec. (9 de enero de 2017). shorturl.at/DJP57
- CORRALES PICARDO, M. R. Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz. 2012. Tesis de maestría, Universidad Nacional De Ingeniería. Lima. shorturl.at/ksUY9
- CORTES NAVARRO, H.V. y MUÑOZ GIRALDO, A.C. Incremento del confort térmico en viviendas construidas con materiales ligeros. 2020. Tesis de pregrado, Universidad EIA. shorturl.at/cKLXY
- CORTÉS, L. La cuestión residencial bases para una sociología del habitar. 1995. Colombia: Editorial Fundamentos.
- DE LA PEÑA, D. Adobe, características y sus principales usos en la construcción. En D. a. Diego, Instituto Tecnológico de la Construcción (pág. 15). 2004. México: D.F.
- EL COMERCIO.PE. Casitas Calientes: proyecto galardonado en bienal internacional. (21 de octubre de 2016). shorturl.at/efhiR
- EL PERUANO. Construirán 6,000 casas bioclimáticas hasta el 2019: Ministerio de Vivienda invertirá 167 millones de soles en edificaciones. (6 de julio de 2018). shorturl.at/bgI23
- FLORES CERVANTES, N. R. Acondicionamiento térmico en viviendas de adobe Ubicados a más de 3800 m.s.n.m. en la Región Puno. 2017. Tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/1463>
- GHOREISHI KARIMÍ, K. Ecomateriales y Construcción Sostenible [versión PDF]. Escuela de Organización Industrial. Unión Europea. 2011.
- GIRALDO, W. y HERRERA, C.A. Ventilación pasiva y confort térmico en vivienda de interés social en clima ecuatorial. Ingeniería y Desarrollo. Universidad del Norte. 2017, vol. 35, N° 1: 77-101, 2017. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.35.1.8944>
- GÓMEZ RÍOS, A. E. Arquitectura bioclimática en zonas alto andinas de Puno. 2014. shorturl.at/CDEG6
- HARMAN, L. Confort Térmico en Viviendas Altoandinas... un enfoque integral. Harman. COMISIÓN EUROPEA. CARE Perú y Gobierno de CANADA. 2010. Lima: Talleres gráficos de Balcarí Editores SAC
- HERNÁNDEZ, S., FERNÁNDEZ, C., y BAPTISTA, P. Metodología de la Investigación. 6ta edición. 2014. McGraw-Hill/Education. shorturl.at/BSTVY
- HISPANTV. El 92 % de la población mundial sufre por la contaminación del aire. Recuperado el 28 de mayo de 2019. 2018. shorturl.at/FIWY7

- HUANCA SALAZAR, E. Prototipo de Vivienda Rural Bioclimatizada utilizando energía solar para zonas frías en la región Puno. 2018. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” de Puno.
- HUAYLLA ROQUE, F. A. Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú. 2010. UNI - Lima.
- HUMPIRI LAZARTE, L. Vivienda rural saludable como estrategia de desarrollo en las comunidades de Coline, Cayco (Crucero Alto) y Alto Huancané, del distrito de Santa Lucía - Lampa – Puno. 2016. Tesis presentada a la Universidad Nacional del Altiplano para optar el Título Profesional de Arquitecto.
- IBÁÑEZ PLANA, M., ROSELL POLO, J., ROSSELL URRUTIA, J. Tecnología Solar. 2005. Madrid: Ediciones Mundi-prensa.
- LOAYZA O'BANDO, T. Historia del Departamento de Puno. 1972. Puno-Perú: Editorial HTLO.
- MAMANI CONDORI, R. E. Prototipo de vivienda con adobe mejorado en el distrito de Chupa – Azángaro. 2017. Tesis para optar el título profesional de Arquitecto. Universidad Nacional del Altiplano de Puno.
- MARTINEZ. Bioconstrucciones: El ladrillo de adobe. 2013. shorturl.at/EINOo
- MERCADO, M. V., ESTEVES, A. y FILIPPÍN, C. Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina. 2010, 10(2), 87-100. <https://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212010000200006>
- MINISTERIO DE VIVIENDA, C. y. Edificaciones Antisísmicas de Adobe. En C. y. Ministerio de Vivienda, Manual de Construcción con Adobe (págs. 06-20). 2010. Lima - Perú: San marcos S.A.
- MINISTERIO DE SALUD. Boletín Epidemiológico N°13. Situación epidemiológica de las infecciones respiratorias agudas (IRA), neumonías y SOB (asma) en el Perú hasta la SE 13 – 2014. 2014. <http://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/boletines/2014/13.pdf>
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma E.080 Diseño y construcción con tierra reforzada. 2021. http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376
- MONCLOA, C. Confort Térmico: Un sistema aislante para la vivienda Alto Andina fabricado con materiales reciclados. MODULO ARQUITECTURA-CUC, 2017, vol. 18, no. 1, pp. 73-90. shorturl.at/gsuw9
- MORÍN, E. Los siete saberes necesarios para la educación del futuro. 1999. París: UNESCO. shorturl.at/NAF19

- ÑAUPAS, H., VALDIVIA, M., PALACIOS, J., & DELGADO, H. Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. 2018, Vol. 53, Issue 9. Recuperado de: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- PALAO BERASTAÍN, J. Etnohistoria del Altiplano de Puno. 2005. Puno–Perú: Arte y Color EIRL
- RIVERA, C. Casas calientes contra el frío. El país. (14 de julio de 2014). shorturl.at/dPSV6
- RIVASPLATA CASTRO, X. Modelo de Vivienda Climatizada para el distrito de Calana utilizando métodos solares pasivos. 2018. Tesis para optar el Título Profesional de Arquitecta. Universidad Privada de Tacna. shorturl.at/TWZ14
- ROBLEDO, E. El drama de la vivienda en Colombia. 1985. Bogotá.
- RODRIGUEZ-LARRAIN, S.; WIESER, M.; ALVARIÑO, M.; VARGAS NEUMANN, J.; REISER, J.; BIONDI, S. y JIMÉNEZ, C. Transferencia tecnológica para la mejora de la salud, confort térmico y seguridad (gestión de riesgos) en la vivienda de zonas de clima frío intertropical de altura, aplicada al hábitat altoandino de la región Puno. 2015. shorturl.at/cefpv
- SAAVEDRA SALAZAR, G. G. Diseño, construcción y evaluación térmica de un módulo de vivienda rural en la localidad de Vilcallamas Arriba, distrito de Pisacoma, provincia Chucuito, región Puno. 2014. TESIS PREGRADO. Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/4484>
- SIMANCAS, Y. El Confort en el acondicionamiento térmico. II Parte, Cap. 1 El confort térmico en el reacondicionamiento bioclimático. 2003. <http://www.tdx.cat>
- SUASACA PELINCO, Leonel et al. Influencia de las pacas de avena en la temperatura y humedad en las viviendas en zonas altoandinas. Inv. y Des. [online]. 2020, vol.20, n.1, pp.215-227. shorturl.at/gTW58
- VÁZQUEZ, M. Construcción e impacto sobre el ambiente: el caso de la tierra y otros materiales, Informes de la construcción, N° 471, Madrid. 2000. España
- VÁZQUEZ LÓPEZ, C. La vivienda sustentable en comunidades rurales (caso de estudio: Municipios aledaños a Tuxtla Gutiérrez, Chiapas). 2013. Tesis para obtener por el grado de Maestro en ingeniería en Universidad Nacional Autónoma de México.
- VELARDE ABUGATTAS, G.K. En el Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas de dos pisos de adobe existente en Lima. 2014. Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5541>
- VILCA APAZA, H.M.; YAPUCHURA SAICO, C. R.; MAMANI APAZA, W. W. y SARDÓN ARI, D. L. Maestros indigenistas y sus experiencias socio-

educativas en el altiplano peruano en el siglo XX. *Comunicación*. 2018, vol.9, n.2, pp.90-100. shorturl.at/ijKOR

VILCA-APAZA, H.M., BERMEJO-PAREDES, S. y SARDÓN ARI, D.L. Los Sistemas de Numeración Aymara: cambios y Valor Formativo. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*. 2021, v. 35, n. 71, pp. 1701-1722. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v35n71a22>.

WAINATE, A. W. y Cabrera, D. SB. Mejoramiento de las viviendas de adobe ante una exposición prolongada de agua por efecto de inundaciones. En S. B. Wainate Walter, Pontificia Universidad Católica del Perú (pág. 11). 2010. Lima: San Bartolomé.

ANEXOS

Instrumentos de recolección de datos



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE ADOBES NTP 399.613

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO-2022
SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO, DISTRITO DE PICHACANI-PROVINCIA DE PUNO
MUESTRA : ADOBE
FECHA : 03 DE MARZO DEL 2022

Nº	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	AREA BRUTA CM2	CARGA KG.	ESF. DE ROTURA KG/CM2
1	ADOBE 30.1 x 8.96 x 19.74	3/03/2022	593.78	12060.00	20.31
2	ADOBE 30.0 x 8.97 x 19.98	3/03/2022	598.60	11500.00	19.21
3	ADOBE 30.1 x 9.00 x 20.04	3/03/2022	602.80	11960.00	19.84
4	ADOBE 30.1 x 8.98 x 19.90	3/03/2022	599.39	12010.00	20.04
5	ADOBE 29.92 x 9.10 x 19.60	3/03/2022	586.43	11980.00	20.43
6	ADOBE 29.74 x 8.98 x 20.11	3/03/2022	598.07	11430.00	19.11
PROMEDIO DE ESFUERZO DE ROTURA (F ^b)				19.82	KG/CM2

OBSERVACIONES

* LOS ADOBES FUERON PUESTOS EN EL LABORATORIO POR LOS BACHILLERES


 Elizabeth Copca Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP 121350

LOS RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504



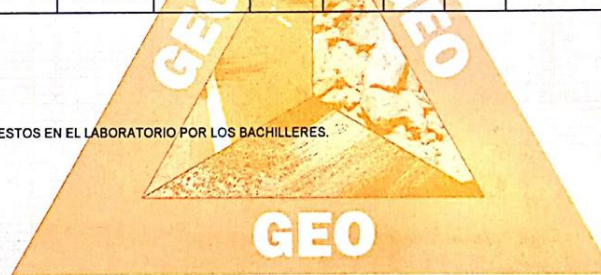
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

NORMA NTP 339.078 - ASTM C67-01

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO - 2022
SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO, DISTRITO DE PICHACANI - PROVINCIA DE PUNO
MUESTRA : ADOBE
FECHA : 03 DE MARZO DEL 2022

N°	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD EN DIAS	PROMEDIO			LECTURA DEL DIAL (kg)	RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mr) kg/cm ²
					l (cm)	b (cm)	h (cm)		
1	ADOBE	15/01/2022	3/03/2022	47	29.88	19.60	9.12	260	4.78
2	ADOBE	15/01/2022	3/03/2022	47	30.14	20.80	9.00	240	4.27
3	ADOBE	15/01/2022	3/03/2022	47	30.10	19.48	8.86	310	6.08
4	ADOBE	15/01/2022	3/03/2022	47	30.08	20.09	8.90	280	5.28
5	ADOBE	15/01/2022	3/03/2022	47	29.76	20.06	8.92	320	6.01
6	ADOBE	15/01/2022	3/03/2022	47	30.10	19.04	9.08	220	4.20

OBSERVACIONES:
* LOS ADOBES FUERON PUESTOS EN EL LABORATORIO POR LOS BACHILLERES.




Elizabeth Ccopa Gordillo
INGENIERO GEÓLOGO
CIP. 121350

LAS MUESTRAS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504



ENSAYO DE SUCCIÓN DEL ADOBE

NTP 399.613

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO
SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO, DISTRITO DE PICHACANI - PROVINCIA DE PUNO
MUESTRA : ADOBE
FECHA : 03 DE MARZO 2022

MUESTRA	P1 gr.	P2 gr.	Area Cm2	Succión gr/200 cm2 min
1	6210	6221	590.94	3.72
2	6189	6204	608.12	4.93
3	6224	6236	594.86	4.03
4	6305	6318	598.24	4.35
5	6196	6208	596.56	4.02
6	6293	6304	600.12	3.67
PROMEDIO FINAL				4.12

P1 Peso de la unidad después de secar en estufa
P2 Peso de la unidad en gr. Luego de haberle sometido con película de agua.

OBSERVACIONES :
* LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR LOS BACHILLERES.


Elizabeth Ccopa Gordillo
INGENIERO GEÓLOGO
CIP/121350

LOS RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504

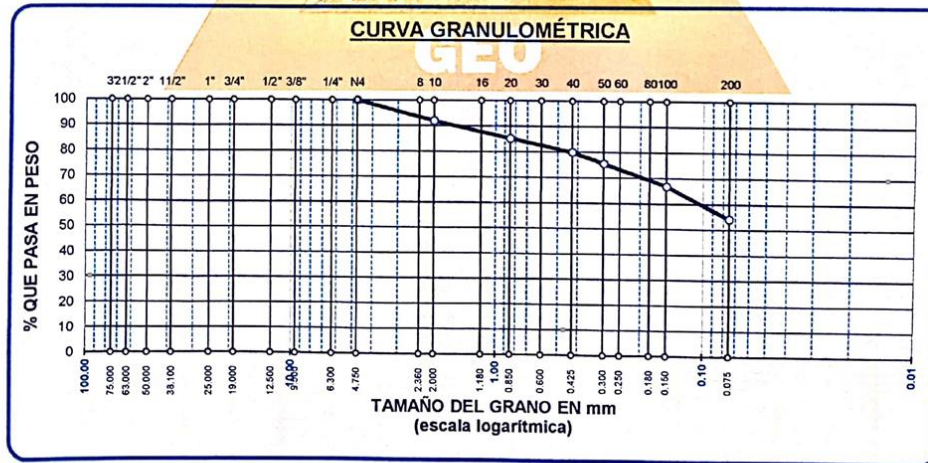


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN [D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487]

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO -2022
 SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER HENRY MARK VILCA APAZA
 UBICACIÓN : ADOBE
 MUESTRA : CENTRO POBLADO VILUYO, DISTRITO DE PICHACANI - PROVINCIA DE PUNO
 FECHA : 03 DE MARZO DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 300.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 137.35
2"	50.000						P.P.= 162.65
1 1/2"	38.100						% w = 0.57
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						L.L.= 29.96
1/2"	12.500						L.P.= 16.34
3/8"	9.500						I.P.= 13.62
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		D10= — Cu= —
No8	2.360						D30= — Cc= —
No10	2.000	24.12	8.04	8.04	91.96		D60= 0.11
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	20.08	6.69	14.73	85.27		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : CL
No40	0.425	16.17	5.39	20.12	79.88		ASSTHO :
No 50	0.300	12.90	4.30	24.42	75.58		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	25.91	8.64	33.06	66.94		
No200	0.075	38.17	12.72	45.78	54.22		
BASE		162.65	54.22	100.00	0.00		
TOTAL		300.00	100.00				
% PERDIDA							



OBSERVACIONES
 1.- LA MUESTRA FUE PUESTA EN EL LABORATORIO POR LOS BACHILLERES

Elizabeth Ccopa Gordillo
Elizabeth Ccopa Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP. 121350

LOS RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504



PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO -2022

SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER HENRY MARK VILCA APAZA

MUESTRA : ADOBE

UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO, DISTRITO DE PICHACANI - PROVINCIA DE PUNO

FECHA : 03 DE MARZO DEL 2022

**CONTENIDO DE HUMEDAD
 ASTM - D - 2216 - MTC - E 108**

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	295.86
SUELO SECO + TARRO	gr	294.38
PESO DEL TARRO	gr	36.82
PESO DEL AGUA	gr	1.48
PESO DEL SUELO SECO	gr	257.56
HUMEDAD %	%	0.57

**LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD
 ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90**

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO	
	A	B	A	B
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	42.18	44.25	12.25
SUELO SECO + TARRO	gr	38.32	39.48	11.96
PESO DEL TARRO	gr	25.52	23.61	10.17
PESO DEL AGUA	gr	3.86	4.77	0.29
PESO DEL SUELO SECO	gr	12.80	15.87	1.79
HUMEDAD %	%	30.16	30.06	16.20
N° DE GOLPES		24	24	16.47
LÍMITE LIQUIDO %		29.96	LÍMITE PLÁSTICO %	16.34
ÍNDICE PLÁSTICO %		13.62		

$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$
 Donde:
 LL = Límite Líquido
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
 N = Número de Golpes

OBSERVACIONES
 1.- LA MUESTRA FUE PUESTA EN EL LABORATORIO POR LOS BACHILLERES

Elizabeth Ccopa Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP. 121350

RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO
URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504



ENSAYO DE PENETRACIÓN DINÁMICA LIGERA (DPL)
 NTP 339.159 (DIN4094)

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO-2022
SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO, DISTRITO DE PICHACANI - PROVINCIA DE PUNO COORDENADAS: 395379 mE - 8223471 mS
MUESTRA : DPL N° 1
PROFUNDIDAD : 0.15 - 2.50 m. **N.F.: 1.80 m.**
FECHA : 09 DE FEBRERO DEL 2022

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	N° DE GOLPES 10 Cm	MUESTRA		φ	q _u	q _{ad}
			PROF (m)	Dr			
		0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30	0.20	33.00	29.95	1.38	0.458
CL	ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD		0.40	33.00	29.95	1.38	0.458
			0.60	29.40	29.41	1.13	0.375
			0.80	25.80	28.67	1.00	0.333
ML	LIMOS INORGÁNICOS LIGERA PLASTICIDAD		1.00	25.80	28.67	1.00	0.333
			1.20	34.79	30.22	1.50	0.500
			1.40	33.00	29.95	1.38	0.458
			1.60	33.00	29.95	1.38	0.458
			1.80	25.80	28.67	1.00	0.333
			2.00	29.40	29.41	1.13	0.375
			2.20	34.79	30.22	1.50	0.500
			2.40	36.58	30.49	1.63	0.542
			2.60	38.37	30.76	1.75	0.583

Elizabeth
 Elizabeth Copca Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP. 121350

LOS RESULTADOS SERÁN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504

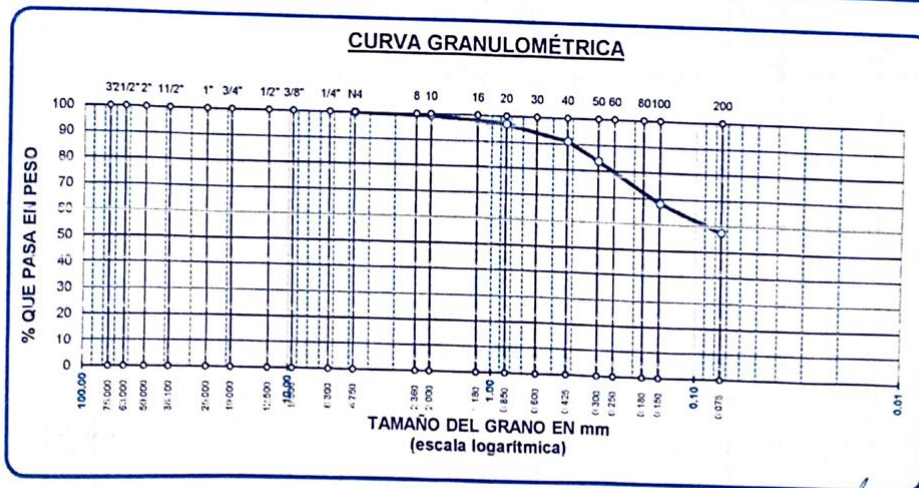


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOClimATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO-2022
 SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
 UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO - DISTRITO DE PICHACANI- PROVINCIA DE PUNO
 COORDENADAS : 395379mE - 8223471mS
 MUESTRA : MUESTRA 1
 PROFUNDIDAD : 0.00 0.00 m
 FECHA : 09 DE FEBRERO DEL 2022

TAMICES ASTM	ADERTURA mm	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMANO MAXIMO
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.L.= 250.00
2"	50.000						P.L.= 105.80
1 1/2"	38.100						P.P.= 144.20
1"	25.000						% W = 20.10
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 32.27
3/8"	9.500						L.P.= 18.83
1/4"	6.300						I.P.= 13.45
No4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00		CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	1.55	0.62	0.62	99.38		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						D60= 0.09
No20	0.850	6.00	2.40	3.02	96.98		CLASIFICACIÓN:
No30	0.600						I.G. = :
No40	0.425	14.45	5.78	8.80	91.20		SUCS : CL
No50	0.300	16.65	7.40	10.20	83.74		ASSTHO :
No60	0.250						OBSERVACIONES:
No80	0.180						
No100	0.150	38.75	15.50	31.76	68.24		
No200	0.075	26.40	10.56	42.32	57.68		
BASE		144.20	57.68	100.00	0.00		
TOTAL		250.00	100.00				
% PERDIDA		57.68					



LOS RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504

Elizabeth Ccopa Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP 1011504

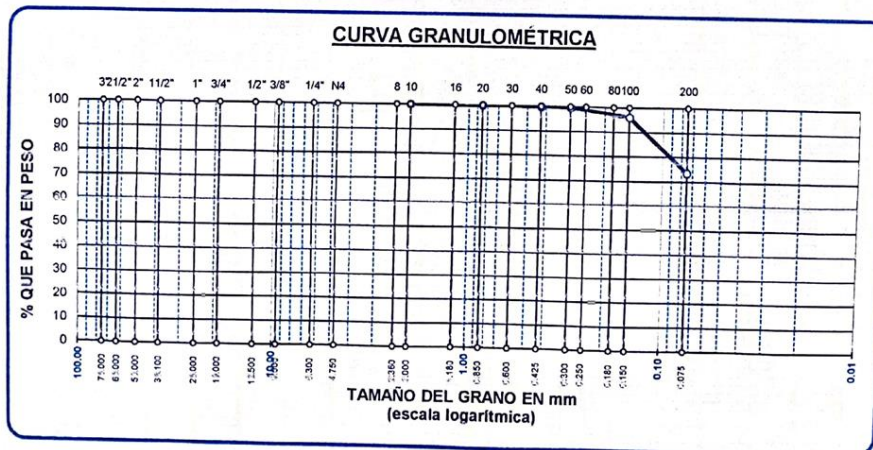


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)

ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO-2022
 SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
 UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO - DISTRITO DE PICHACANI- PROVINCIA DE PUNO
 COORDENADAS : 395379mE - 8223471mS
 MUESTRA : MUESTRA 2
 PROFUNDIDAD : 0.30 - 0.70 mt
 FECHA : 09 DE FEBRERO DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO: DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	75.000						P.I.= 250.00
2 1/2"	63.000						P.L.= 66.25
2"	50.000						P.P.= 183.75
1 1/2"	38.100						% W = 31.22
1"	25.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.000						LL= 37.49
1/2"	12.500						LP= 21.05
3/8"	9.500						IP= 16.44
1/4"	6.300						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No4	4.750						D10= --- Cu= ---
No6	2.360						D30= --- Cc= ---
No10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00		
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	0.10	0.04	0.04	99.96		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : CL
No40	0.425	0.30	0.12	0.16	99.84		ASSTHO :
No 60	0.300	0.65	0.28	0.42	99.58		OBSERVACIONES:
No80	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	8.70	3.48	3.90	96.10		
No200	0.075	56.50	22.60	26.50	73.50		
BASE		183.75	73.50	100.00	0.00		
TOTAL		250.00	100.00				
% PERDIDA		73.50					



LOS RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

Elizabeth Ccopa Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP 121350

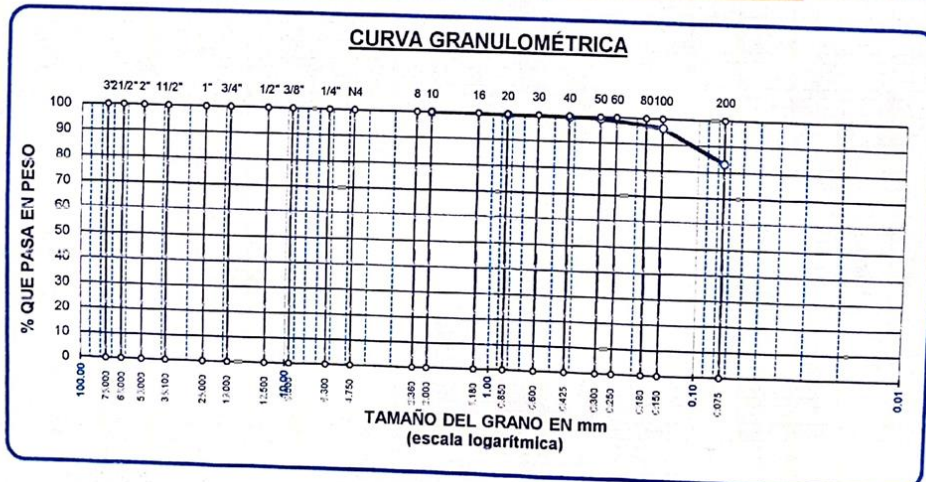
URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)
ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACIÓN (D422 - D2216 - D4318 - D427 - D2487)

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO-2022
 SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
 UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO - DISTRITO DE PICHACANI- PROVINCIA DE PUNO
 COORDENADAS : 395379mE - 8223471mS
 MUESTRA : MUESTRA N° 3
 PROFUNDIDAD : 0.70 - 2.50 mt
 FECHA : 09 DE FEBRERO DEL 2022

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF.	TAMAÑO MÁXIMO:
3"	75.000						DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2 1/2"	63.000						P.I.= 250.00
2"	50.000						P.L.= 41.65
1 1/2"	38.100						P.P.= 208.35
1"	25.000						% W = 35.94
3/4"	19.000						LIMITES DE CONSISTENCIA:
1/2"	12.500						L.L.= 34.23
3/8"	9.500						L.P.= 27.83
1/4"	6.300						I.P.= 6.40
No4	4.750						CARACT. GRANULOMÉTRICAS:
No8	2.360						D10= --- Cu= ---
No10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00		D30= --- Cc= ---
No16	1.180						CLASIFICACIÓN:
No20	0.850	0.45	0.18	0.18	99.82		I.G. = :
No30	0.600						SUCS : ML
No40	0.425	0.40	0.16	0.34	99.66		ASSTHO :
No50	0.300	0.85	0.34	0.68	99.32		OBSERVACIONES:
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.150	7.15	2.86	3.54	96.46		
No200	0.075	32.80	13.12	16.66	83.34		
BASE		208.35		100.00	0.00		
TOTAL		250.00	100.00				
% PERDIDA					83.34		



LOS RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

Emilia
 Elizabeth Copal Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGA
 R.P. 121350

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504



TRIPLE GEO S.R.L.
Calidad y Experiencia

LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

Geología - Geofísica - Geotecnia

PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO-2022
SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO - DISTRITO DE PICHACANI - PROVINCIA DE PUNO
COORDENADAS : 395379mE - 8223471mS
MUESTRA : MUESTRA 1
PROFUNDIDAD : 0.00 - 0.30 mt
FECHA : 09 DE FEBRERO DEL 2022

**CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM - D - 2216 - MTC - E 108**

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	246.08
SUELO SECO + TARRO	gr	209.75
PESO DEL TARRO	gr	70.96
PESO DEL AGUA	gr	36.33
PESO DEL SUELO SECO	gr	138.79
HUMEDAD %	%	26.18

**LÍMITE LIQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD
ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90**

TARRO N°	LÍMITE LIQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO		
		K	L	K	L
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	40.50	38.82	16.26	16.19
SUELO SECO + TARRO	gr	36.36	35.05	15.42	15.33
PESO DEL TARRO	gr	23.54	23.25	10.92	10.80
PESO DEL AGUA	gr	4.14	3.77	0.84	0.86
PESO DEL SUELO SECO	gr	12.82	11.80	4.50	4.53
HUMEDAD %	%	32.29	31.95	18.67	18.98
N° DE GOLPES		26	26		

LÍMITE LIQUIDO % : 32.27 LÍMITE PLÁSTICO % : 18.83

ÍNDICE PLÁSTICO % : 13.45

$LL = Wn * (N/25)^{0.121}$
Donde:
LL = Límite Líquido
Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
N = Número de Golpes

Elizabeth Copca Gordillo
INGENIERO GEÓLOGO
CIP 121350

RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504



PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO
 EN LA ZONA ALTOANDINA, PUNO-2022
SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO - DISTRITO DE PICHACANI - PROVINCIA DE PUNO
COORDENADAS : 395379mE - 8223471mS
MUESTRA : MUESTRA 2
PROFUNDIDAD : 0.30 - 0.70 mt
FECHA : 09 DE FEBRERO DEL 2022

**CONTENIDO DE HUMEDAD
 ASTM - D - 2216 - MTC - E 108**

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	286.88
SUELO SECO + TARRO	gr	234.72
PESO DEL TARRO	gr	67.66
PESO DEL AGUA	gr	52.16
PESO DEL SUELO SECO	gr	167.06
HUMEDAD %	%	31.22

**LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD
 ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90**

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO		
	I	J	I	J	
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	40.36	37.97	16.84	17.11
SUELO SECO + TARRO	gr	36.14	34.27	15.81	16.05
PESO DEL TARRO	gr	24.80	24.29	10.95	10.98
PESO DEL AGUA	gr	4.22	3.70	1.03	1.06
PESO DEL SUELO SECO	gr	11.34	9.98	4.86	5.07
HUMEDAD %	%	37.21	37.07	21.19	20.91
N° DE GOLPES		27	27		

LÍMITE LÍQUIDO % : 37.49 **LÍMITE PLÁSTICO %** : 21.05

ÍNDICE PLÁSTICO % : 16.44

LL = $W_n * (N/25)^{0.121}$
 Donde:
 LL = Límite Líquido
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
 N = Número de Golpes


 Elizabeth Copca Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP. 121350

RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504



PROYECTO : DISEÑO DE UN MÓDULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO PARA MEJORAR EL CONFORT TÉRMICO EN LA ZONA ALTOANDINA, PUÑO-2022
SOLICITANTE : BACHILLER. JUVENAL GALO TICONA CHURA - BACHILLER. HENRY MARK VILCA APAZA
UBICACIÓN : CENTRO POBLADO VILUYO - DISTRITO DE PICHACANI- PROVINCIA DE PUÑO
COORDENADAS : 395379mE - 8223471mS
MUESTRA : MUESTRA N° 3
PROFUNDIDAD : 0.70 - 2.50m
FECHA : 09 DE FEBRERO DEL 2022

**CONTENIDO DE HUMEDAD
 ASTM - D - 2216 - MTC - E 108**

SUELO HUMEDO + TARRO	gr	244.69
SUELO SECO + TARRO	gr	199.22
PESO DEL TARRO	gr	72.72
PESO DEL AGUA	gr	45.47
PESO DEL SUELO SECO	gr	126.50
HUMEDAD %	%	35.94

**LÍMITE LÍQUIDO - LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD
 ASTM - D424 D-4318 AASHTO - T90**

TARRO N°	LÍMITE LÍQUIDO		LÍMITE PLÁSTICO		
	M	N	M	N	
SUELO HUMEDO + TARRO	gr	41.46	39.52	16.24	16.60
SUELO SECO + TARRO	gr	37.23	35.46	15.07	15.36
PESO DEL TARRO	gr	24.85	23.62	10.88	10.89
PESO DEL AGUA	gr	4.23	4.06	1.17	1.24
PESO DEL SUELO SECO	gr	12.38	11.84	4.19	4.47
HUMEDAD %	%	34.17	34.29	27.92	27.74
N° DE GOLPES		25	25		

LÍMITE LÍQUIDO % : 34.23 **LÍMITE PLÁSTICO %** : 27.83

ÍNDICE PLÁSTICO % : 06.40

$LL = Wn * (N/25)^{0.121}$
 Donde:
 LL = Límite Líquido
 Wn = Contenido de Humedad Promedio (%)
 N = Número de Golpes


 Elizabeth Copa Gordillo
 INGENIERO GEÓLOGO
 CIP 121350

¡ RESULTADOS SERAN VALIDOS SOLO CON EL SELLO SECO

URB. VILLA DEL LAGO MZ - "G" LOTE 14 TEL. 942225341 - 951810504

Planos arquitectónicos

ÁNGULO ESTRUCTURAL A36		
Lados	Espesor	Peso Teórico
mm	mm	kg/5m
38 X 38	1 1/2" X 1 1/2"	4.5
	3/16"	16.072

TEES ESTRUCTURAL A36		
Lados	Espesor	Peso Teórico
mm	mm	kg/5m
38 X 38	1 1/2" X 1 1/2"	4.5
	3/16"	16.072

CUADRO DE SISTEMA SOLAR PASIVO	
	E - W
Orientación de sistema solar pasivo	2
Número de sistema solar pasivo	2
Dimensiones del sistema solar pasivo	6.00m X 2.00m X 5.20m
Número y dimensiones de ventanas	8 Ventanas de 1.20m X 1.20m
Espesor de vidrio en el sistema solar pasivo	6mm
Puerta de acceso	2 Puerta de 0.90m X 2.20m

ELEVACION LATERAL NORTE

ELEVACION LATERAL SUR

ELEVACION FRONTAL

VISTA 3D SISTEMA SOLAR PASIVO (ESTE)

VISTA 3D SISTEMA SOLAR PASIVO (OESTE)

VISTA 3D MÓDULO DE VRB CON SISTEMA SOLAR PASIVO

TÍTULO DE PROYECTO:
MÓDULO DE VIVIENDA PARA
COPROPIETARIOS DEL PLAN DE
LA ZONA ADMINISTRATIVA DE SANTA TERESA

DATOS DE UBICACIÓN:
DEPARTAMENTO: PASTO
PROVINCIA: PASTO
CANTÓN: PASTO

PROYECTANTES:
DIBUJANTE:
INGENIERO CIVIL: DR.
INGENIERO EN ARQUITECTURA: DR.
INGENIERO EN ARQUITECTURA: DR.

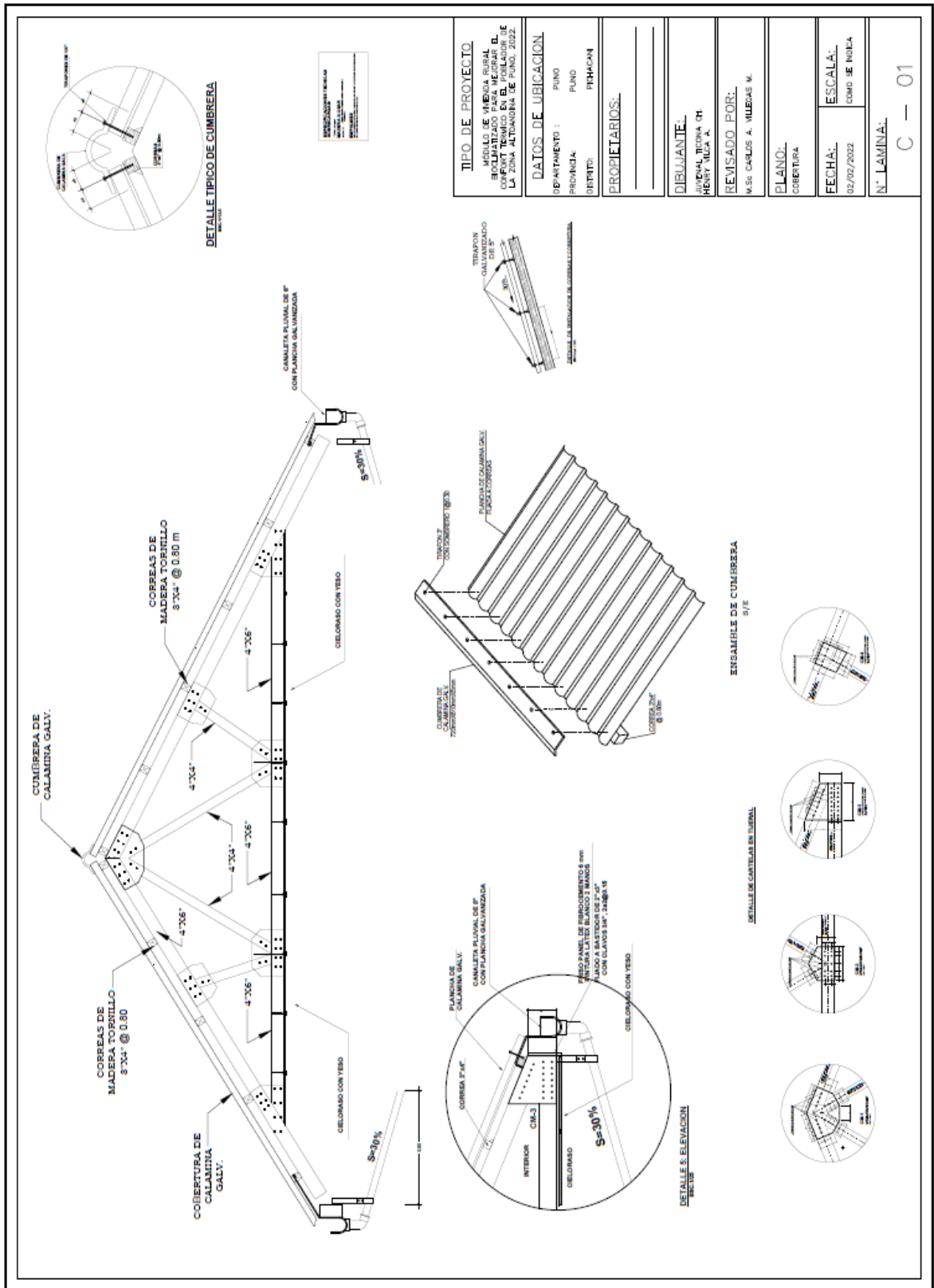
DELEGADO LOCAL:
DR. CARLOS A. RUIZ DE W.

FECHA:
12/02/2022

ESCALA:
COMO SE VEIA

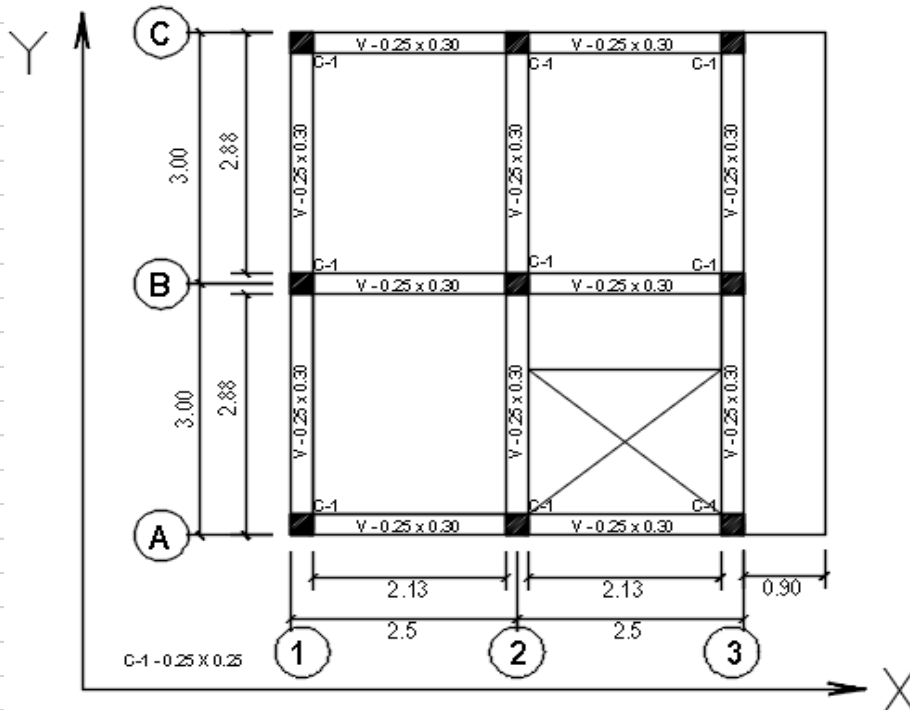
N. LAMINA:
SSP - 01

Plano de cobertura



Memoria de análisis sísmico

ANÁLISIS SISMICO ESTATICO MANUAL DEL MODULO DE VIVIENDA RURAL BIOCLIMATIZADO



1.- METRADO DE CARGAS

* METRADO DE VIGAS (V- 0.25 X 0.30)

$$\text{PESO} = b * L * h * \gamma^{\circ}c \quad \gamma^{\circ}c = 2.4 \text{ ton-f/m}^3$$

1er NIVEL VIGAS EN DIRECCIÓN "X"				
EJE	L (m)	b (m)	h (m)	P (ton)
eje A	5.9	0.25	0.3	1.06
eje B	5.9	0.25	0.3	1.06
eje C	5.9	0.25	0.3	1.06

1er NIVEL VIGAS EN DIRECCIÓN "Y"				
EJE	L (m)	b (m)	h (m)	P (ton)
eje 1	6	0.25	0.3	1.08
eje 2	6	0.25	0.3	1.08
eje 3	6	0.25	0.3	1.08

2do NIVEL VIGAS EN DIRECCIÓN "X"				
EJE	L (m)	b (m)	h (m)	P (ton)
eje A	5	0.25	0.3	0.90
eje B	5	0.25	0.3	0.90
eje C	5	0.25	0.3	0.90

2do NIVEL VIGAS EN DIRECCIÓN "Y"				
EJE	L (m)	b (m)	h (m)	P (ton)
eje 1	6	0.25	0.3	1.08
eje 2	6	0.25	0.3	1.08
eje 3	6	0.25	0.3	1.08

* METRADO DE COLUMNAS (C- 0.25 X 0.25)

$$\text{PESO} = A * h_e * \gamma^{\circ}c * \# \text{ elm.}$$

COLUMNA TIPO CUADRADO C1					
NIVEL	h (m)	h _e (m)	A (m ²)	# elm.	P (ton)
1	2.40	2.4	0.0625	9	3.24
2	2.40	1.2	0.0625	9	1.62

* METRADO DE CARGAS POR AREAS

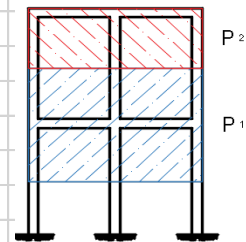
LOSA e = 0.2 m			TABIQUERIA 1600 kg-f/m ³			ACABADOS 100 kg-f/m ²		
A (m ²)	W (ton/m ²)	P (ton)	V (m ³)	W (ton/m ³)	P (ton)	A (m ²)	W (ton/m ²)	P (ton)
31.78	0.3	9.53	11.40	1.6	18.23	31.78	0.1	3.18

S/C 200 kg-f/m ²			S/C Techo 30 kg-f/m ²		
A (m ²)	W (ton/m ²)	P (ton)	A (m ²)	W (ton/m ²)	P (ton)
31.78	0.2	6.36	31.78	0.03	0.95

* RESUMEN DE METRADO DE CARGAS

NIVEL	VIG. (ton)	COL. (ton)	LOS. (ton)	Acb. (ton)	TAB. (ton)	S/C (ton)	CM (ton)	CV (ton)	P (ton)
1	6.43	3.24	9.53	3.18	18.23	6.36	40.61	6.36	42.20
2	5.94	1.62	1.59	3.18	0.00	0.95	12.33	0.95	12.57

PESO SISMICO $P = 100\% \text{ CM} + 25\% \text{ CV}$



2.- CALCULO DE RIGIDEZ LATERAL DEL PORTICO POR LAS EXPRESIONES DE WILBUR

Para el primero y segundo entrepiso (R1), (R2). Con columnas empotradas en la cimentación

$$R1 = \frac{48E}{h1 \left[\frac{4h1}{\sum kc1} + \frac{h1+h2}{\sum kt1 + \frac{\sum kc1}{12}} \right]}$$

$$R2 = \frac{48E}{h2 \left[\frac{4h2}{\sum kc2} + \frac{h2+h3}{\sum kt2} + \frac{2h1+h2}{\sum kt1} \right]}$$

* RIGIDEZ TOTAL EN DIRECCION "X" EJES A, B, C

$$E = 15100 (f'c)^{0.5} \text{ (kg-f/cm}^2\text{)}$$

$$E = 2188197.89 \text{ ton-f/m}^2 \quad h1 = 2.40 \text{ m} \quad h2 = 2.40 \text{ m} \quad L = 2.50 \text{ m}$$

$$h3 = 0 \text{ m}$$

$$Ic = (b * h^3)/12 \quad Iv = (b * h^3)/12$$

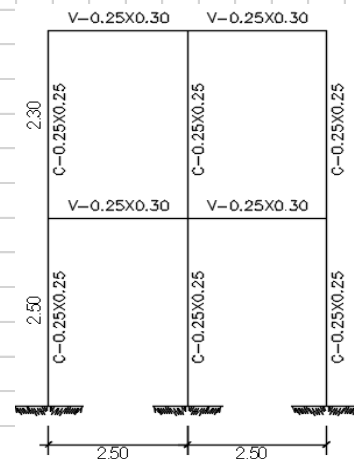
$$Ic = 3.26E-04 \text{ m}^4 \quad Iv = 5.63E-04 \text{ m}^4$$

$$\sum kc1 = \# \text{ elem} * Ic / h \quad \sum kv1 = \# \text{ elem} * Ic / L$$

$$\sum kc1 = 4.07E-04 \quad \sum kv1 = 4.50E-04$$

$$k1 = 1305.91 \text{ ton-f/m}$$

$$k2 = 974.13 \text{ ton-f/m}$$



* RIGIDEZ TOTAL EN DIRECCION "Y" EJES 1, 2, 3

$$E = 15100 (f'c)^{0.5} \text{ (kg-f/cm}^2\text{)}$$

$$E = 2188197.89 \text{ ton-f/m}^2 \quad h1 = 2.40 \text{ m} \quad h2 = 2.40 \text{ m} \quad L = 3.00 \text{ m}$$

$$h3 = 0 \text{ m}$$

$$Ic = (b * h^3)/12$$

$$Iv = (b * h^3)/12$$

$$Ic = 3.26E-04 \text{ m}^4$$

$$Iv = 5.63E-04 \text{ m}^4$$

$$\sum kc1 = \# \text{ elem} * Ic / h$$

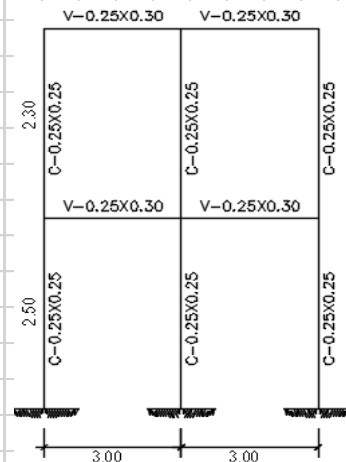
$$\sum kv1 = \# \text{ elem} * Ic / L$$

$$\sum kc1 = 4.07E-04$$

$$\sum kv1 = 3.75E-04$$

$$k1 = 1238.67 \text{ ton-f/m}$$

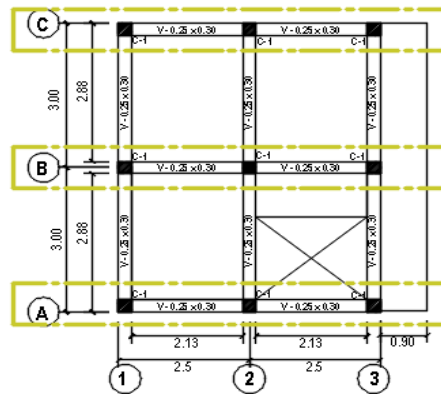
$$k2 = 889.64 \text{ ton-f/m}$$



* RESUMEN DE RIGIDECES EN CADA NIVEL

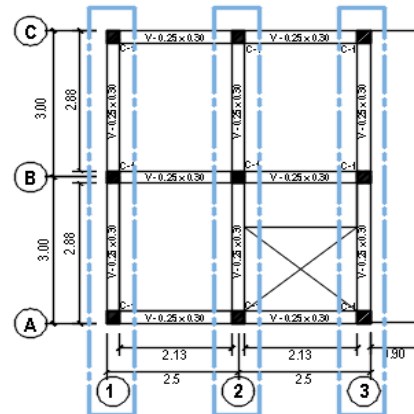
ANALISIS EN DIRECCION "X" EJES A,B,C

NIVEL	RIGIDEZ LATERAL PARA UN PORTICO (ton-f/m)	RIGIDEZ LATERAL TOTAL (ton-f/m)
2	974.13	2922.38
1	1305.91	3917.73

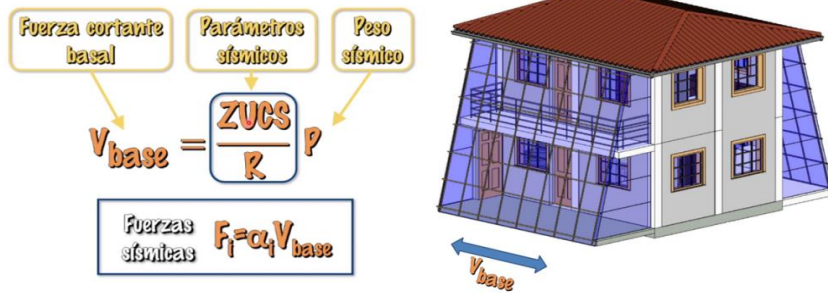


ANALISIS EN DIRECCION "Y" EJES 1,2,3

NIVEL	RIGIDEZ LATERAL PARA UN PORTICO (ton-f/m)	RIGIDEZ LATERAL TOTAL (ton-f/m)
2	889.64	2668.92
1	1238.67	3716.00



3.- CALCULO DE LA CORTANTE BASAL



$$V = (Z * U * C * S) * P / R$$

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
PUNO	PUNO	ACORA	3	DOCE DISTRITOS
		ATUNCOLLA		
		CHUCUITO		
		HUATA		
		MAÑAZO		
		PALICARCOLLA		
		PICHACANI		
		PLATERIA		
		PUNO		
		SAN ANTONIO		

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

* FACTOR DE ZONA .- Z = 0.35

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

* FACTOR DE USO .- U = 1

28.4. Período Fundamental de Vibración

28.4.1. El período fundamental de vibración para cada dirección se estima con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

$C_T = 35$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- Pórticos de concreto armado sin muros de corte.
- Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$C_T = 45$ Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

- Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.
- Pórticos de acero arriostrados.

$C_T = 60$ Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

* PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACION.

$$T = h_n / C_T$$

$$h_n = 4.80 \text{ m}$$

$$C_T = 35$$

$$T = 0.14 \text{ s}$$

* FACTOR DE SUELO.-
Suelo intermedio S2

$$S = 1.15$$

SUELO	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,80	2,00

	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,8

* PERIODO CORTO Y LARGO

$$T_P = 0.6 \text{ s}$$

$$T_L = 2 \text{ s}$$

* FACTOR DE AMPLIFICACION SISMICA

$$T = 0.14 \text{ s}$$

$$T_P = 0.6 \text{ s}$$

$$T_L = 2 \text{ s}$$

PORLOTANTO:

$$C = 2.5$$

Artículo 14.- Factor de Amplificación Sísmica (C)

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$T < T_P$$

$$C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L$$

$$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L$$

$$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$$

T es el período de acuerdo al numeral 28.4, concordado con el numeral 29.1.

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo.

Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción R ₀ (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7(**)

(*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

(**) Para diseño por esfuerzos admisibles.

* FACTOR DE REDUCCION SISMICA

$$R = R_0 * I_a * I_p$$

$$R = 8 * 1 * 1 = 8$$

Artículo 19.- Regularidad Estructural

19.1. Las estructuras se clasifican como regulares o irregulares para los fines siguientes:

- Cumplir las restricciones de la Tabla N° 10.
- Establecer los procedimientos de análisis.
- Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

19.2. **Estructuras Regulares** son las que, en su configuración resistente a cargas laterales, no presentan las Irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9. En estos casos, el factor I_a e I_p es igual a 1,0.

19.3. **Estructuras Irregulares** son aquellas que presentan una o más de las irregularidades indicadas en las Tablas N° 8 y N° 9.

* PESO SISMICO

$$P = 54.77 \text{ ton-f}$$

$$V = (Z * U * C * S) * P / R$$

$$C/R \geq 0.11 \quad \frac{C}{R} = \frac{3}{8} = 0.31 \geq 0.11 \quad \text{OK!}$$

$$V = 6.89 \text{ ton-f}$$

4.- ANALISIS ESTATICO O DE FUERZAS EQUIVALENTES

28.3. Distribución de la Fuerza Sísmica en Altura

28.3.1. Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i , correspondientes a la dirección considerada, se calculan mediante:

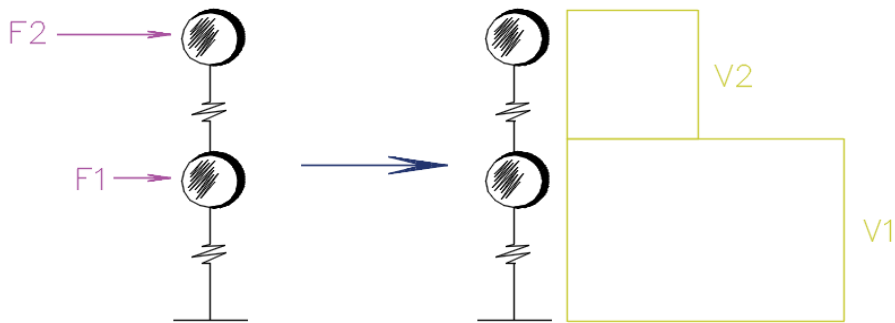
$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

28.3.2. Donde n es el número de pisos del edificio, k es un exponente relacionado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

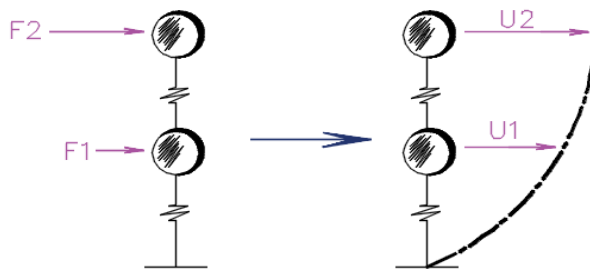
- a) Para T menor o igual a 0,5 segundos: $k = 1,0$.
- b) Para T mayor que 0,5 segundos: $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$.



PESOS (ton-f)	Alturas (m)	Alturas Acum (m)	Producto $P_i h_i^k$	Porcentaje α	Fuerza Sísmica	Fuerza cortante de entrepiso
P1 42.20	h1 2.40	H1 2.40	$P_1 h_1^k$ 101.28	α_1 0.627	$\alpha_1 V = F_1$ 4.32	V1 6.89
P2 12.57	h2 2.40	H2 4.80	$P_2 h_2^k$ 60.32	α_2 0.373	$\alpha_2 V = F_2$ 2.57	V2 2.57

$$\sum P_i h_i^k = 161.6 \quad \sum \alpha_i = 1.00 \quad \sum F_i = 6.89$$

5.- CALCULO DE DESPLAZAMIENTO ELASTICOS EN AMBAS DIRECCIONES



* EN DIRECCION "X"

$$K = \begin{bmatrix} K_1 + K_2 & -K_2 \\ -K_2 & K_2 \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix} \quad U = K^{-1} F = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 6840.12 & -2922.4 \\ -2922.4 & 2922.38 \end{bmatrix} \quad \text{MAT. INV. } (K^{-1}) = \begin{bmatrix} 0.00026 & 0.00026 \\ 0.00026 & 0.0006 \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} 4.32 \\ 2.57 \end{bmatrix} \quad U = K^{-1} F = \begin{bmatrix} 0.00176 \\ 0.00264 \end{bmatrix}$$

* EN DIRECCION "Y"

$$K = \begin{bmatrix} K1+K2 & -K2 \\ -K2 & K2 \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} F1 \\ F2 \end{bmatrix} \quad U = K^{-1} F = \begin{bmatrix} U1 \\ U2 \end{bmatrix}$$

MAT. INV. (K⁻¹)

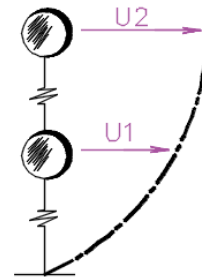
$$K = \begin{bmatrix} 6384.91 & -2668.9 \\ -2668.9 & 2668.92 \end{bmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} 4.32 \\ 2.57 \end{bmatrix} \quad U = K^{-1} F = \begin{bmatrix} 0.00185 \\ 0.00282 \end{bmatrix}$$

* DESPLAZAMIENTOS REALES "INELASTICOS" EN AMBAS DIRECCIONES.

CAPÍTULO V
REQUISITOS DE RIGIDEZ, RESISTENCIA Y DUCTILIDAD

Artículo 31.- Determinación de Desplazamientos Laterales

31.1. Para **estructuras regulares**, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por **0,75 R** los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas. Para **estructuras irregulares**, los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por **0,85 R** los resultados obtenidos del análisis lineal elástico.



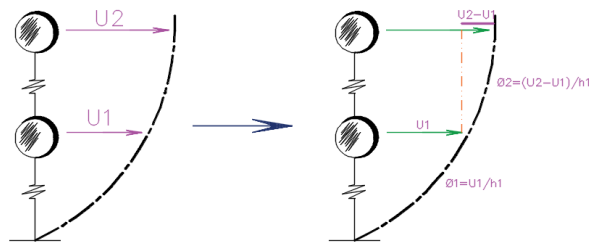
* EN DIRECCION "X".

$$U = K^{-1} F = \begin{bmatrix} 0.00176 \\ 0.00264 \end{bmatrix} \quad U = 0.75 * R * U = \begin{bmatrix} 0.01055 \\ 0.01583 \end{bmatrix}$$

* EN DIRECCION "Y".

$$U = K^{-1} F = \begin{bmatrix} 0.00185 \\ 0.00282 \end{bmatrix} \quad U = 0.75 * R * U = \begin{bmatrix} 0.01112 \\ 0.0169 \end{bmatrix}$$

6.- CALCULO DE LAS DERIVAS O DISTOSION INELASTICAS DE ENTREPISO EN AMBAS DIRECCIONES.



* DIRECCION "X"

$$U = \begin{bmatrix} 0.00176 & \text{Nivel1} & h1 = 2.40 \text{ m} \\ 0.00264 & \text{Nivel2} & h2 = 2.40 \text{ m} \end{bmatrix} \quad \phi_e = \frac{U1/h1}{(U2-U1)/h2} = \frac{0.00073}{0.00037} \quad \phi_i = \frac{0.75R\phi_e}{0.0044} = 0.0022$$

* DIRECCION "Y"

$$U = \begin{bmatrix} 0.00185 & \text{Nivel1} & h1 = 2.40 \text{ m} \\ 0.00282 & \text{Nivel2} & h2 = 2.40 \text{ m} \end{bmatrix} \quad \phi_e = \frac{U1/h1}{(U2-U1)/h2} = \frac{0.00077}{0.0004} \quad \phi_i = \frac{0.75R\phi_e}{0.00463} = 0.00241$$

7.- COMPARACION DE LAS DISTORSIONES CON LA NORMATIVA E. 030

Artículo 32.- Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la Tabla N° 11.

* DIRECCION "X"

$$\phi_i = \begin{bmatrix} 0.0044 < 0.007 & \text{SI CUMPLE} \\ 0.0022 < 0.007 & \text{SI CUMPLE} \end{bmatrix}$$

* DIRECCION "Y"

$$\phi_i = \begin{bmatrix} 0.00463 < 0.007 & \text{SI CUMPLE} \\ 0.00241 < 0.007 & \text{SI CUMPLE} \end{bmatrix}$$

Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ / h_w)
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota: Los límites de la distorsión (deriva) para estructuras de uso industrial son establecidos por el proyectista, pero en ningún caso exceden el doble de los valores de esta Tabla.

Este libro se terminó de publicar en la editorial

**Instituto Universitario
de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú**



EDITADA POR
INSTITUTO
UNIVERSITARIO
DE INNOVACIÓN CIENCIA
Y TECNOLOGÍA INUDI PERÚ