



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA, CONFORT Y EFICIENCIA  
ENERGÉTICA, PRIMERA COHORTE

**“ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN EL PÁRAMO ANDINO DE ECUADOR:  
MEJORA TÉRMICA-ENERGÉTICA DE MATERIALES COMO ENVOLVENTE EN  
LA VIVIENDA SOCIAL”**

ARTÍCULO CIENTÍFICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE: MAGISTER  
EN ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA, CONFORT Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**AUTOR:**

ARQ. CESAR ERNESTO HIDALGO VILLACIS  
C.I. 0919666966

**DIRECTOR:**

MSC. ARQ. JUAN DIEGO GODOY CHACHA  
C.I. 0301561577

**CODIRECTOR:**

PHD. JAVIER COLLADO RUANO  
C.I. 0151653888

CUENCA – ECUADOR

2018



# Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social

Autor: Arq. Cesar E. Hidalgo Villacis - [cesarh28@gmail.com](mailto:cesarh28@gmail.com)

*Maestría en Arquitectura Bioclimática: Confort y Eficiencia energética de la Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador*

Director: Arq. Juan Diego Godoy - [arq.jdgodoy13@gmail.com](mailto:arq.jdgodoy13@gmail.com)

*Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH). Riobamba-Ecuador*

Codirector: PhD. Javier Collado Ruano - [javier.collado@unae.edu.ec](mailto:javier.collado@unae.edu.ec)

*Universidad Nacional de Educación (UNAE). Azogues-Ecuador*

---

## Resumen

Se analiza el comportamiento térmico y el consumo energético de la envolvente de la casa tipo del MIDUVI, implantadas en Ecuador, en las cercanías de la cabecera cantonal de Pucará, Provincia del Azuay. Las que presenta el uso de una envolvente cuya materialidad no responde adecuadamente a las condiciones climáticas del sitio, lo que da lugar a la falta de confort térmico en el interior de las viviendas que pueden derivar en problemas de salud. La finalidad de este estudio es determinar si mediante la implementación de materiales bioclimáticos en la envolvente arquitectónica es posible mejorar las condiciones de confort en la vivienda social, para clima de páramo andino. Para lograr este objetivo se plantea una investigación con enfoque experimental-cuantitativo, con el fin de evaluar la envolvente arquitectónica (variable independiente) y su influencia en la calidad térmica del ambiente interior (variable dependiente) de la vivienda tipo del MIDUVI, se siguieron los siguientes pasos: a) recolección de datos climáticos, b) verificación del estado actual de las viviendas del MIDUVI y su relación con los usuarios, c) determinación de materiales locales y sus características térmicas, mediante pruebas de laboratorio, d) simulaciones del comportamiento térmico y energético de la envolvente actual y propuesta; y e) análisis comparativo entre envolventes. Se tomaron datos de las estaciones meteorológicas para la obtención de datos reales sobre el clima. Los datos recogidos se utilizaron para crear y desarrollar las simulaciones en Energy Plus v8.7. y así verificar el funcionamiento térmico de las envolventes. Se concluyó por medio de la simulación térmico-energética que mediante la implementación de materiales bioclimáticos en la envolvente se incrementa hasta 5°C la temperatura interior, llegando de 15 a 18°C, muy cerca del rango de confort; además de un incremento del 51% en la relación con la temperatura exterior. Por otro lado, si se usa climatización artificial la envolvente propuesta presenta un mejor desempeño energético que la actual pudiendo ahorrar hasta el 74% el consumo mensual de energía en calefacción.

**Palabras claves:** páramo andino, mejora térmica-energética, envolvente arquitectónica, vivienda social.

## Abstract

The thermal behavior and the energy consumption of the housing envelope of the MIDUVI type house are analyzed, implanted in Ecuador, near of the cantonal head of Pucará, Province of Azuay. Where the use of an envelope that does not respond adequately to the climatic conditions of the site is presented, which gives rise to the lack of thermal comfort inside the dwelling, that can lead to health problems. The purpose of this study is to determine if implementing bioclimatic materials in the architectural envelope it is possible to improve the comfort conditions in social housing, for andean páramo climate. To achieve this objective, a research is proposed with an experimental-quantitative approach, in order to evaluate the architectural envelope (independent variable) and its influence on the thermal quality of the indoor environment (dependent variable) in the dwelling type, the following steps were followed: a) collection of climatic data, b) verification of the current status of MIDUVI housing and its relationship with users, c) determination of local materials and their thermal characteristics, through laboratory tests, d) simulations of the thermal and energetic behavior of the current and proposed envelope; and e) comparative analysis between envelopes. Data from meteorological stations were taken to obtain real climate data. The data collected was used to create and develop the simulations in Energy Plus v8.7. and verify the thermal performance of the envelope. It was concluded by means of the thermal-energetic simulation that by means of the implementation of bioclimatic materials in the enclosure, the interior temperature increases up to 5 ° C, reaching 15 to 18 ° C, very close to the comfort range; besides an increase of 51% in the relation with the exterior temperature. On the other hand, if artificial air conditioning is used, the proposed envelope presents a better energy performance than the current one and can save up to 74% of the monthly energy consumption in heating.

**Keyword:** Andean páramo, thermal-energetic improvement, architectural envelope, social housing.



## Índice

<b>Resumen</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
Cláusula de Licencia y Autorización para publicación en el Repositorio Institucional .....	<b>3</b>
Cláusula de Propiedad Intelectual .....	<b>4</b>
<b>I. Introducción</b> .....	<b>5</b>
Vivienda Social en el Ecuador .....	<b>5</b>
Identificación del Problema .....	<b>6</b>
<b>II. Metodología</b> .....	<b>7</b>
<b>III. Caso de Estudio</b> .....	<b>8</b>
Elección del área de Estudio .....	<b>8</b>
Clima y Confort .....	<b>9</b>
Materialidad de la Envolvente .....	<b>10</b>
<b>IV. Desarrollo</b> .....	<b>11</b>
Elección de Materiales .....	<b>11</b>
Medición de Transmitancia Térmica .....	<b>12</b>
<b>V. Resultados y Discusión</b> .....	<b>15</b>
Análisis de la Envolvente (Simulaciones) .....	<b>15</b>
Modelo Actual .....	<b>15</b>
Modelo con Mejoras en la Envolvente .....	<b>17</b>
<b>VI. Conclusiones</b> .....	<b>19</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>20</b>
<b>VII. Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>20</b>
<b>Anexo</b> .....	<b>22</b>



Cesar Ernesto Hidalgo Villacis en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 4 de julio de 2018

---

Cesar Ernesto Hidalgo Villacis

C.I. 0919666966



Cesar Ernesto Hidalgo Villacis, autor del trabajo de titulación “Arquitectura bioclimática en el páramo andino de Ecuador: mejora térmica-energética de materiales como envolvente en la vivienda social”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 4 de julio de 2018

A handwritten signature in blue ink, reading "Cesar Hidalgo Villacis", positioned above a horizontal line.

Cesar Ernesto Hidalgo Villacis  
C.I. 0919666966



## I. INTRODUCCIÓN

### VIVIENDA SOCIAL EN ECUADOR

La vivienda social es aquella destinada al mejoramiento de la situación habitacional de personas o grupos que no tienen la posibilidad de encarar económicamente la construcción de su vivienda en forma individual. Por esta razón, el estado se convierte en el principal sujeto de acción para proporcionar, financiar y organizar la entrega de viviendas a esta franja de la población (Mercado, Esteves, y Filippin, 2010).

En la situación actual de la vivienda en Ecuador, el 45.6% de los 3 810 548 millones de hogares registrados en el censo nacional de 2010 habitan en viviendas inadecuadas. Este número contabiliza al 36.3% de hogares que sufren déficit cualitativo, y al 19.3% de los hogares que sufren déficits cuantitativos como se muestra en el cuadro 1. Los 1,38 millones de hogares con déficit cualitativo residen en viviendas cuya tenencia es insegura, construidas con materiales inadecuados, con carencia de servicios sanitarios básicos, o con problemas de hacinamiento. Los 735 436 hogares con déficit cuantitativo comparten su vivienda con uno o más hogares, o viven en unidades de vivienda improvisadas (SICES, 2017).

La incidencia del déficit de vivienda varía también según la localización de los hogares. Mientras que en las áreas urbanas el 37% de los hogares habita en viviendas inadecuadas, este número llega al 60% en las rurales. La dispersión geográfica de las viviendas rurales ha generado una elevada carencia de servicios básicos. El 55% de los hogares rurales carecen de conexión a una red de agua, y el 80% no cuentan con un sistema cloacal apropiado (MIDUVI, 2016).

Según el censo nacional de 2010 la región interandina del Ecuador o Sierra ecuatoriana está poblada por 6 081 342 habitantes, posee una superficie de 59.810 km<sup>2</sup> que representa alrededor del 22% de la superficie total del país continental, y su altitud varía entre 800 m.s.n.m. y 6.310 m.s.n.m., y su media es de 3.500 m.s.n.m.; es un área que posee variedad de ecosistemas entre ellos el Páramo con una superficie de 12.500 km<sup>2</sup>, que representa aproximadamente el 6% del territorio nacional continental (Mena Vásconez y Hofstede, 2006), donde existen necesidades de vivienda de carácter social en la población urbana y rural.

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), ha implementado durante la última década varios programas de vivienda social, considerando que el segmento de muy baja capacidad económica es donde realmente se concentra el déficit. Sin embargo, el modelo de vivienda social que se construye tiene el mismo diseño y utiliza los mismos materiales de construcción

independientemente de las condiciones climáticas en que se encuentra. Por esta razón, este tipo de vivienda no satisface las condiciones mínimas de vida relacionadas con el confort térmico (Gallardo et al., 2016). Además, en el caso de Ecuador, los indicadores descuidan o no consideran aspectos que contribuyen al déficit cualitativo, como parámetros relacionados con la calidad térmica de la vivienda, lo que ha causado incluso problemas de salud de diversa índole (Funaro, 2011). De ahí la pertinencia de analizar que materiales son los más indicados para lograr mejorar la calidad de vida de los moradores mediante una arquitectura bioclimática adaptada al entorno ambiental de cada zona. Comúnmente, el aspecto térmico se ve relegado al momento de construir, debido a que cobran más relevancia temas tales como el costo económico o la situación sociocultural. Sin embargo, la respuesta térmica de una vivienda tiene influencia sobre las personas que viven en ella. Es importante que la habitabilidad del interior de la vivienda sea la adecuada para lograr el confort térmico y de esa forma, proporcionar una mejora en la calidad de vida (Cuitiño et al., 2015).

La sensación térmica experimentada por un ser humano está relacionada, principalmente, con el equilibrio térmico global del cuerpo. Tal equilibrio depende de la actividad física y de la vestimenta del sujeto, así como de los parámetros ambientales: temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire y humedad del aire según Fanger (1973). Para Givoni (1981) el confort se puede definir como la buena sensación física y mental de los moradores de una edificación. El arquitecto debe buscar con sus diseños obtener soluciones que satisfagan las necesidades psicológicas, sociales y funcionales, así como las físicas y fisiológicas, de los ocupantes en el marco de unas circunstancias topográficas, climáticas y económicas dadas (Rodrigo et al., 2012, p. 76).

En el Ecuador la referencia para determinar el confort térmico en un edificio es la norma INEN-ISO 7730 que trata sobre la ergonomía del ambiente térmico, cuyos cálculos se basan en el método de Fanger (ISO 7730, 2014). Con este concepto en el año 2011 entra a revisión la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, donde en el capítulo 13 Eficiencia energética en la construcción del Ecuador en la página 13 se establece que para que exista confort térmico en el interior, las edificaciones deben mantenerse en los siguientes rangos: Temperatura del aire ambiente entre 18 y 26 °C, Temperatura radiante media de superficies del local entre 18 y 26 °C, Velocidad del aire: entre 0,05 y 0,15 m/s, Humedad relativa: entre el 40 y el 65 % (MIDUVI, 2011). Cabe destacar que es un documento oficial pero no aprobado. Dicho documento toma como base varias normas ISO, como la ISO 7730, ISO 6946:1997 e ISO 13789:2007; además de reglamentación térmica chilena (MINVU, 2006) y el código técnico de la construcción de España (CTE, 2013), entre otras.

Cuadro 1. Déficit de viviendas en Ecuador.

Datos Censo Nacional 2010		Carencias Cuantitativas	Carencias Cualitativas				
			Total	Materiales	Hacinamiento	Servicios básicos	Tenencia insegura
<b>Hogares</b>	3 810 548	735 436	1 383 229	222 699	294 628	626 603	265 580
<b>Porcentaje</b>	100%	19.3%	36.3%	16.1%	21.3%	45.3%	19.2%

Fuente: <http://www.conocimientosocial.gob.ec/pages/EstadisticaSocial>



De acuerdo con Rafael Serra “los edificios son barreras a la lluvia, al viento y, a veces, filtros sutiles a la luz y calor. Rodeados de entornos variables, donde cambian el día y la noche, el calor y el frío, el viento y la calma, la lluvia y el sol; se convierten en refugios de artificiales condiciones, como islas de tranquilidad en un mundo incómodo” (Serra, 2000, p. 7). Este principio debe ser muy claro al momento de diseñar por parte del arquitecto para lograr edificios que respondan a las condiciones de confort requeridas por sus usuarios.

La envolvente de un edificio es la *piel* que lo protege de las condiciones naturales de su emplazamiento como la temperatura, aire y humedad exteriores. La envolvente térmica es un concepto más específico y se refiere a las propiedades que la envolvente tiene respecto al flujo de calor que se transmite entre interior y exterior. Dependiendo de las condiciones climáticas del contexto, las propiedades de la envolvente térmica pueden variar. Cada elemento (cubierta, fachada, ventanas, pisos) puede tener propiedades térmicas distintas, según sea conveniente (arquitecturaenacero.org, 2017).

La calidad de la envolvente es tan solo uno de los componentes del sistema que involucra un edificio. Si se considera al edificio como un sistema integrado al que se le incorporan determinadas tecnologías para mejorar la calidad “térmica”, reacciona todo el sistema, obteniendo como resultado un ahorro de energía, que genera una disminución de los costos operativos y, la amortización de la inversión que origina su implementación (Mercado et al., 2010). Dichos costos se incrementan considerablemente si la envolvente exterior no es adecuada al clima del lugar presentando por ello un mal comportamiento térmico-energético, además de problemas como la condensación que deterioran los cerramientos e incrementan los gastos de mantenimiento (Martínez, 2005).

En las viviendas de carácter social especialmente, es muy importante que el diseño arquitectónico tenga presente el objetivo de lograr o acercarse lo más posible al confort de los usuarios en periodos fríos del año, haciendo mínima la necesidad de gastar energía para alcanzar condiciones ambientales adecuadas para la actividad humana (Bustamante y Rozas, 2009).

## IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en la Región Sierra, en zonas con clima frío de páramo andino sobre los 3 000 msnm, el MIDUVI construye viviendas tipo en zonas rurales de manera aisladas o agrupadas según sea la demanda. Se usa el método tradicional de construcción con estructura de hormigón armado, pisos de cemento pulido o paletado, paredes sin aislamiento con bloques de piedra pómez hueco enlucidos con cemento, ventanas de vidrio sin aislamiento con estructura de aluminio, y cubierta de zinc o fibrocemento.

Las envolventes para climas fríos a nivel mundial se han desarrollado acentuando la aislación, la hermeticidad y la captación directa de radiación solar (Baixas, 2012) (Bustamante y Rozas, 2009). Varias normas y reglamentaciones han establecido requerimientos mínimos sobre la transmitancia y aislamiento térmico de los materiales que forman una envolvente arquitectónica según sus condiciones climáticas. En la tabla 1 se muestra una comparativa de valores máximos del coeficiente de transmitancia térmica (U) para todos los elementos de la envolvente y su función en el conjunto según la norma española, chilena y ecuatoriana. Estas normas son análogas para la zona de páramo andino sobre los 3 000 m.s.n.m. Además, se incluye los valores (U) calculados en base a datos obtenidos en ensayos de conductividad térmica por método de placa caliente resguardada en el aparato  $\lambda$ -METER EP500e, mediante la norma ISO 8302, en los materiales empleados en la casa tipo del MIDUVI. De acuerdo con la norma chilena Nch853, la transmitancia térmica o coeficiente U se define como el “flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento” (NCh 853, 2007). El valor U se obtiene mediante la aplicación de la norma ISO 6946, para cada elemento de la envolvente (INEN 6946, 2007).

Según estas normativas o reglamentaciones el método tradicional de construcción usado por el MIDUVI denota una deficiencia en la calidad térmica de la envolvente para el clima de paramo andino puesto que sobrepasa en todos los casos el máximo de transmitancia térmica establecido, esto quiere decir que la vivienda no tiene capacidad de aislamiento y todo el calor ganado se transmite sin mucha resistencia hacia el exterior.

Tabla 1. Coeficientes de transmitancia U (W/m<sup>2</sup>K) máximos en función del tipo de cerramiento para Climas fríos.

Reglamentación o Norma	Documento Básico HE Ahorro de Energía (España) BOE #219 2013	Reglamentación Térmica MINVU (Chile) Art. 4.1.10 2006	Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-11) Capitulo 13 2011	Datos obtenidos en $\lambda$ -METER EP500e (LABET-ESPOL) 2017
<b>Zona Térmica</b>	<b>E1</b>	<b>7</b>	<b>Z1</b>	
<b>Muros</b>	0.55	0.60	1.00	1.706
<b>Pisos</b>	0.55	0.32	1.00	1.686
<b>Cubiertas</b>	0.35	0.25	0.75	6.150
<b>Ventanas</b>	2.50	2.40	5.70	5.780

Fuente: Elaboración propia



Por otro lado, se han elaborado estudios sobre la influencia de envolventes deficientes en climas fríos donde se presentan problemas de salud relacionados con infecciones de las vías respiratorias (Team, 2011), así como aumento del riesgo de ataques cardíacos y accidentes cerebrovasculares debido a la elevación de la sangre presión. Incluso se han demostrado bajos niveles de bienestar induciendo a estrés y depresión (Maidment et al., 2014).

Teniendo en cuenta todo lo descrito anteriormente se presenta la problemática de estudiar el comportamiento térmico-energético de la envolvente con fines de mejorar la calidad térmica del ambiente interior en las viviendas propuestas por el MIDUVI y mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Existen varios procedimientos técnicos que proporcionan altos niveles de confort y acondicionamiento térmico, en este ensayo nos centraremos en la envolvente para lo cual se plantea la hipótesis: “Mediante la implementación de materiales bioclimáticos en la envolvente arquitectónica es posible mejorar las condiciones de confort en la vivienda social, para clima de paramo andino”.

Para comprobar la hipótesis planteada, este artículo tiene como objetivo general proponer una envolvente arquitectónica cuyos materiales bioclimáticos optimicen el confort térmico y minimicen el consumo energético en la vivienda social tipo del MIDUVI en clima de paramo andino sobre los 3 000 msnm. El estudio tiene como objetivos específicos:

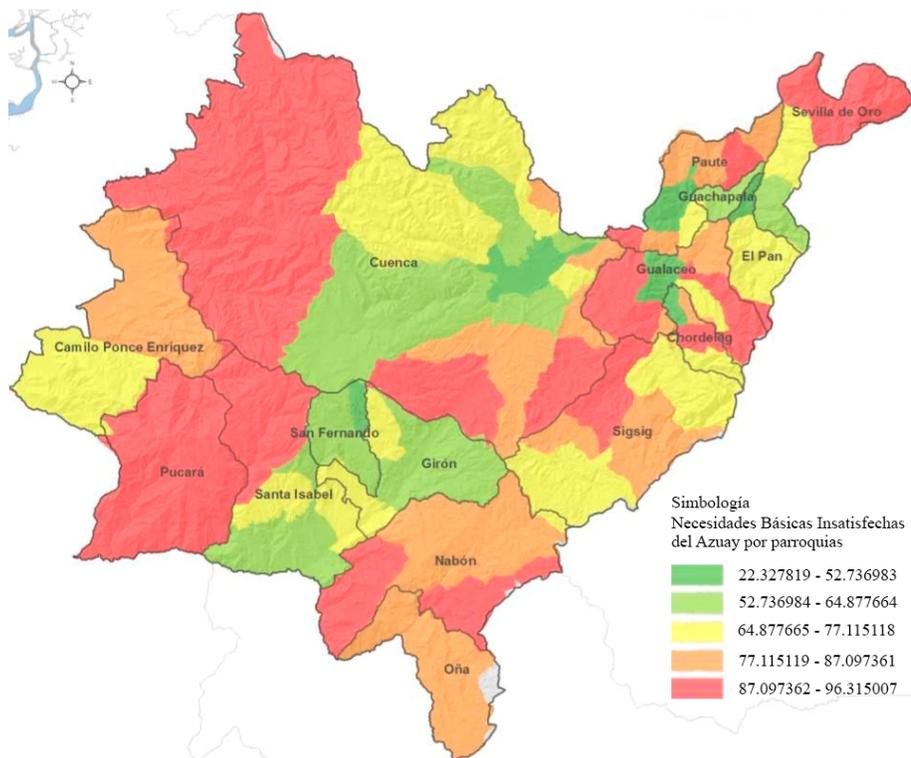
- (a) establecer las preexistencias ambientales y el estado de confort térmico en la vivienda social tipo del MIDUVI en el sitio de estudio;

- (b) determinar los materiales que existen en el mercado local que mejoren la calidad térmica de la envolvente para dicho clima; y
- (c) definir una mejora en la materialidad de la envolvente arquitectónica y comparar el funcionamiento térmico-energético de los materiales definidos como mejora y los materiales actualmente utilizados en la vivienda social del MIDUVI.

## II. METODOLOGÍA

Esta investigación tiene un enfoque experimental-cuantitativo, con el fin de evaluar la envolvente arquitectónica (variable independiente) y su influencia en la calidad térmica del ambiente interior (variable dependiente) de la vivienda tipo del MIDUVI. En este estudio de manera experimental se manipula o modifica la variable independiente para observar el aumento o la disminución en la variable dependiente, para demostrar la importancia de la materialidad de la envolvente en la calidad térmica interior. La investigación se dividió en cinco etapas: a) recolección de datos climáticos, b) verificación del estado actual de las viviendas del MIDUVI y su relación con los usuarios, c) determinación de materiales locales y sus características térmicas, mediante pruebas de laboratorio, d) simulaciones del comportamiento térmico-energético de la envolvente actual y propuesta; y e) análisis de comparativo entre envolventes. Se tomaron datos de las estaciones meteorológicas para la obtención de datos reales sobre el clima. Los datos recogidos se utilizaron para crear y desarrollar las simulaciones en Energy Plus v8.7. y así verificar el funcionamiento térmico de las envolventes.

Imagen 1. Provincia del Azuay necesidades Básicas Insatisfechas por cantones.



Fuente: MAGAP 2002

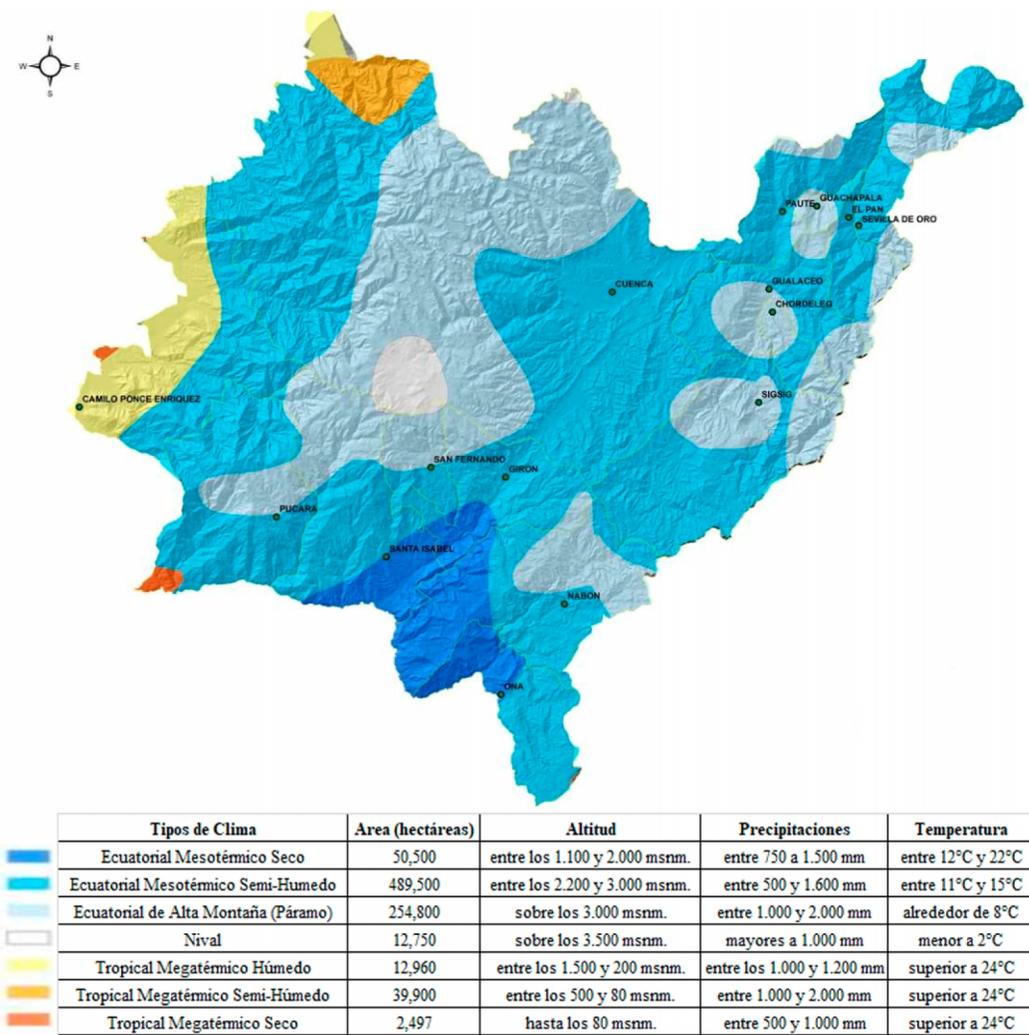
### III. CASO DE ESTUDIO

#### ELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Azuay (2015-2030), la provincia del Azuay tiene un territorio de 8 493 m<sup>2</sup> aproximadamente, se encuentra situada al sur del país, en la zona geográfica conocida como región interandina o sierra, entre las cordilleras Occidental y Oriental; las que dan lugar a la formación de valles, en donde se asientan los centros poblados desde la época colonial. Según el Censo Nacional de 2010 la provincia del Azuay tiene una población de 712 127 habitantes, donde 380 445 pertenecen al área urbana y 331 682 al área rural. En la imagen 1 se muestra las necesidades básicas insatisfechas en la Provincia (el 48.30% de la población) que incluyen: características físicas de la vivienda (material de paredes y piso), disponibilidad de servicios básicos (abastecimiento de agua y eliminación de excretas), asistencia de niños y niñas en edad escolar (6 a 12 años) a un establecimiento

educativo, dependencia económica del hogar (escolaridad del jefe o jefa del hogar y de los miembros del hogar por ocupado) y hacinamiento (Azuay, 2015). Se estudiará un asentamiento de vivienda social en las cercanías de la cabecera cantonal de Pucará, puesto que es el cantón que más necesidades básicas insatisfechas tiene con un 91.43% en comparación con el cantón Cuenca con un 38.20%. Se ubica a una latitud de 3° 13' Sur y longitud de 79° 28' Oeste, a una altura de 3 124 msnm. Este sitio se encuentra aproximadamente a 126 km de la ciudad de Cuenca. Se eligió esta zona ya que el MIDUVI del año 2007 hasta el 2013, invirtió cerca de 2'300.000 dólares en la construcción de programas de vivienda rural, urbana; El proyecto Manuela Espejo, entrega de bonos de titulación, agua potable y saneamiento, en beneficio de más 4.000 habitantes. En vivienda rural, el MIDUVI construyó 310 soluciones habitacionales y se mejoraron 45 viviendas a través de los proyectos: San Rafael de Sharug, Patacocha, Sarayunga, Tres Banderas, Huasipamba, Puculcay, Tullusiri, Nueva Esperanza, San Sebastián y Zhalo en la zona de Pucará (MIDUVI, 2013).

Imagen 2. Provincia del Azuay Tipos de Climas.



Fuente MAGAP 2002



**CLIMA Y CONFORT**

La Provincia del Azuay se encuentra situada en un territorio geográficamente especial, debido a la complejidad de factores que condicionan el clima como: ubicación, altitud, influencia de la región amazónica y del Pacífico. La variedad de climas dentro de la provincia se encuentra determinada por zonas diferenciadas claramente como es el caso de los páramos, desiertos, bosques secos, bosques húmedos, etc. Teniendo como resultado que en esta provincia existan 7 tipos de climas siendo predominante el Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo con más del 50% de la provincia. (ver imagen 2) El clima ecuatorial de alta montaña donde se sitúa la cabecera cantonal de Pucara está por encima de los 3 000 msnm. Esta altura y su exposición condicionan los valores de temperaturas y lluvias. Las temperaturas máximas rara vez sobrepasan los 20°C y las mínimas tiene sin excepción valores inferiores a 0°C y las medias anuales, aunque muy variables, fluctúan casi siempre entre 4°C y 8°C. La gama de los totales pluviométricos anuales va de 800 a 2 000 mm y la mayoría de los aguaceros son de larga duración, pero de baja intensidad. La humedad relativa es siempre superior al 80%. La vegetación natural, llamada “Matorral” en el piso más bajo, es reemplazada en el piso inmediatamente superior por un espeso tapiz herbáceo frecuentemente saturado de agua (Pourrut, 1995). Esto concuerda con los datos de la tabla 2, donde se pueden establecer dos períodos: el verano, de mayo a octubre, con presencia de vientos

fuertes, sol intenso durante el día y heladas durante las noches, temperatura mínima de 2°C en la noche y de 4-12°C durante el día; el invierno, de noviembre a abril, con temporadas de llovizna, días con neblina y nevadas, temperatura mínima de 5°C y máxima de 13°C. Al estar cerca de la línea Ecuador, la incidencia solar es muy intensa y directa con promedios de radiación solar total que van desde 144 a 190 W/m<sup>2</sup> considerando el factor nubosidad. Todos estos datos climáticos fueron obtenidos mediante una triangulación de estaciones meteorológicas Zhuruca y de la Universidad de Cuenca con un monitoreo del 2011 al 2015 y la estación meteorológica del INHAMI M1212.

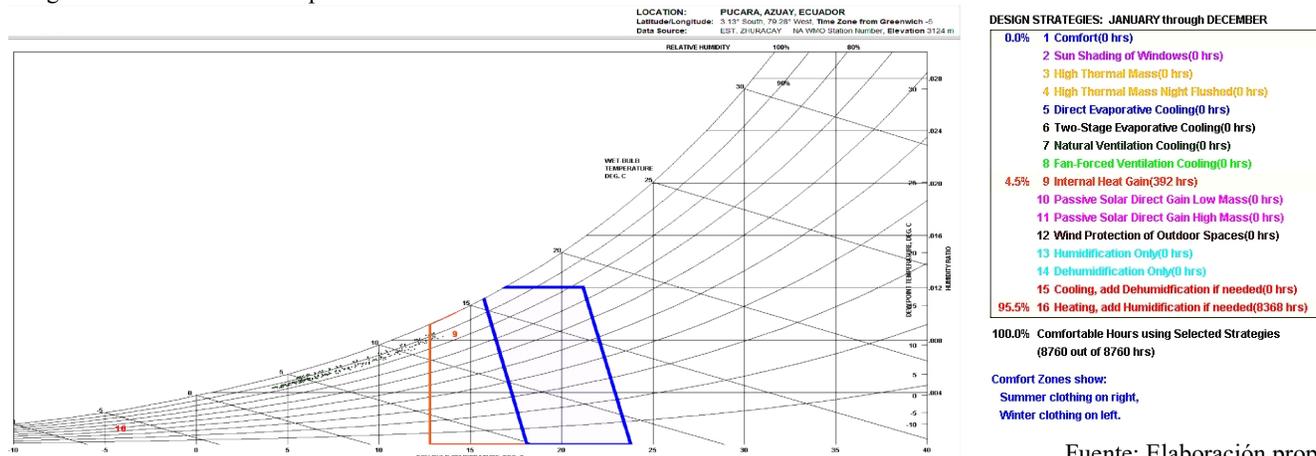
Para tener una idea clara de la influencia del clima sobre las edificaciones realizó el diagrama psicométrico (Imagen 3) para los valores promedios mensuales de temperatura media mínima y máxima, humedad relativa máxima y mínima. El diagrama se realizó a partir del software Consultant Climate 6.0, en base a los datos climáticos obtenidos a las fuentes anteriormente citadas. Como se observa en la gráfica según las condiciones climáticas en espacios exteriores estamos fuera de la zona de confort con temperaturas muy bajas y humedades relativas muy altas. Las estrategias recomendadas para llegar a la zona de confort en edificaciones son: ganancias de calor internas en un 5% y calefacción mecánica en un 95% para mantener confort durante todo el año.

Tabla 2. Parámetros climáticos de la cabecera cantonal del Cantón Pucara.

Mes		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Minigráfico	Anual
Temp. Máxima	°C	12.74	12.95	12.96	12.62	12.44	11.22	10.63	11.09	12.01	12.75	13.49	13.05		12.33
Temp. Mínima	°C	5.49	5.57	5.52	5.44	5.65	5.20	4.61	4.24	4.52	4.63	4.23	4.74		4.99
Temp. Promedio	°C	8.09	8.33	8.20	8.13	8.09	7.46	6.80	6.72	7.24	7.71	7.89	7.90		7.71
H.R. Máxima	%	99.40	99.78	99.21	98.87	98.74	97.35	97.07	95.89	96.18	98.19	98.46	99.17		98.19
H.R. Mínima	%	74.67	74.77	72.31	72.96	72.98	75.04	75.21	69.62	66.83	68.39	62.77	67.82		71.11
H.R. Promedio	%	93.16	93.05	91.69	90.54	90.32	89.33	89.06	86.41	85.32	88.68	86.46	89.56		89.47
Velocidad Viento	m/s	2.65	2.13	2.32	2.67	2.92	3.87	4.05	4.17	3.95	2.55	2.01	2.13		2.95
Radiación Solar	W/m <sup>2</sup>	151.46	146.48	153.29	149.17	144.45	161.55	159.53	169.11	170.46	164.89	190.17	170.30		160.91
Precipitaciones	mm	250.70	235.60	212.20	230.50	48.50	77.00	0.00	0.00	3.00	38.80	49.70	51.60		1197.60

Fuente: Elaboración propia

Imagen 3. Carta Psicométrica para Cabecera Cantonal Pucara.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Temperaturas de confort en Pucará según método adaptativo propuesto por Nicol- Humphreys (2002).

	Temperatura Promedio (°C)	Formula Aplicada	Temperatura de Confort (°C)	Adaptabilidad según condiciones	Rango de Confort Adaptativo (°C)
Mes frío agosto	6.72	$T_{confort} = 13.5 + 0.54 (6.72)$	17.13	± 2°C	15.13 – 19.13
Mes caliente febrero	8.33	$T_{confort} = 13.5 + 0.54 (8.33)$	18.00	± 2°C	16.00 – 20.00

Fuente: Elaboración propia

La temperatura de confort en el interior de un edificio está directamente relacionada con la temperatura promedio del sitio donde se encuentre este. Con este concepto se han desarrollado varios modelos denominados “adaptativos” que determinan la temperatura neutral o de confort en base a la temperatura media exterior de cada sitio en particular. Cuando la temperatura exterior es baja, el rango de aceptación se desplaza hacia temperaturas menores y viceversa. Además, pueden ser aceptadas bajas temperaturas con altas humedades, lo cual no es tolerable con temperaturas altas. De alguna manera, el cuerpo humano está consciente de que el frío casi siempre es húmedo, mientras que el calor no. (Palme et al., 2016).

Estos modelos son útiles para predecir el confort térmico que debe tener un edificio. Para evaluar nivel de confort térmico de los ocupantes de un edificio en el clima planteado, se aplicará el modelo de confort adaptativo, mediante la ecuación (1) (Nicol y Humphreys, 2002).

$$T_{confort} = 13.5 + 0.54 T_{exterior} \quad (1)$$

Cabe destacar que este resultado es puramente físico, por lo que los autores dejan a la temperatura resultante un rango de ± 2°C para obtener condiciones confortables. Este rango adicional es propuesto para tomar en cuenta la actividad, vestimenta y el movimiento de aire. Se realizó el cálculo correspondiente para la cabecera cantonal de Pucará (ver Tabla 3) dando como resultado un rango de confort de 15 a 20 °C, tomando en cuenta las temperaturas medias mensuales del mes más frío y caliente.

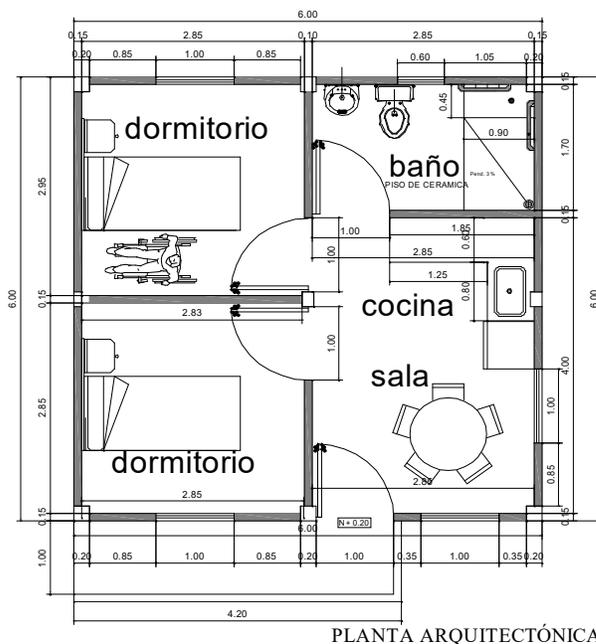
### MATERIALIDAD DE LA ENVOLVENTE

La estructura de la vivienda es de hormigón armado con una cimentación de plintos, a más de columnas y vigas. La envolvente se divide en 3 partes: las paredes que son de bloque de piedra pómez de 0.39 x 0.19 x 0.09 m enlucidos por ambas caras, el piso que consta de una capa de hormigón pobre de 7 a 8 cm sobre terreno compactado el acabado es paleteado y la cubierta que es de fibrocemento ondulado apoyado en estructura metálica. En cuanto a las ventanas son de vidrio simple estructurado en perfilaria de aluminio y la puerta está compuesta de una lámina de acero. Tiene una superficie cubierta de 36 m² donde el área social conformada por sala comedor y cocina, además de un baño y 2 habitaciones (ver imagen 4).

La forma de un edificio interviene de manera directa en el aprovechamiento climático del entorno, esto a través de dos elementos básicos: la superficie y el volumen. La forma de la vivienda de estudio se resuelve en un solo cuerpo compacto de

planta cuadrada de 6 x 6 m que dan 36 m² de superficie con un volumen de 98.4 m³. Según la norma técnica ecuatoriana INEN 2506 referente a requisitos de eficiencia energética en edificaciones el factor forma ( $f = S / V$ ) para zonas climáticas templadas debe estar entre 0.5 y 0.8, lo cual no se cumple siendo el valor para este caso de 0.37 (INEN 2506, 2009). La envolvente resulta ser de 104,3 m² de superficie donde el 61,7% corresponde a paredes y el 38,3% a la cubierta. Esta forma se presenta bastante compacta lo que concuerda con la NEC-11 cap.13 que dice que para climas fríos los edificios deben ser compactos, bien aislados constructivamente con reducidas infiltraciones de aire.

Imagen 4. Vivienda tipo del MIDUVI implementada en la Cabecera Cantonal Pucara.



PLANTA ARQUITECTÓNICA



Fuente: MIDUVI



**IV. DESARROLLO**

**ELECCIÓN DE MATERIALES**

Se elaboró una lista de materiales disponibles en el mercado local que por sus características pudiesen ser usados como envolvente arquitectónica. En la selección de los materiales de construcción para una edificación, se debe tomar en cuenta la energía incorporada, sus propiedades térmicas, acústicas, físicas y la disposición final o reutilización de los mismos. Se establece que se debe justificar que un 20% de los materiales de construcción usados en las edificaciones cumplan al menos un parámetro de los enunciados en la Tabla 2. Estos parámetros se han tomado desde el punto de vista de eficiencia energética propuesto en la NEC-11 cap.13. Se evaluaron los materiales disponibles en el mercado local que se pueden usar como envolvente en base a estos parámetros para comprobar su idoneidad para las pruebas de laboratorio a realizarse (ver Tabla 4).

A parte de los parámetros establecidos se tomó en cuenta los siguientes criterios de transmisión de calor a través de la envolvente en climas fríos:

-En zonas climáticas frías se debe favorecer la incidencia de la radiación sobre las superficies vidriadas para la ganancia de calor. La orientación para climas fríos será con las fachadas principales en sentido este-oeste con asealamientos directos.

-Almacenar la radiación solar en elementos macizos de materiales como hormigón, piedra o arcilla cuya inercia permita la acumulación de calor en la fachada o muros interiores. Este calor se restituye paulatinamente por convección y radiación en las horas nocturnas.

-Limitar los intercambios de temperatura con el exterior reduciendo la superficie en la envolvente, reforzando el aislamiento térmico y disminuyendo el movimiento del aire.

Cabe destacar que el sitio estudiado tiene alto grado de nubosidad y una incidencia solar limitada (si se compara con el resto del país) (CONELEC, 2008), con lo que se debe asumir especialmente el último criterio, el cual prioriza en una envolvente cuya materialidad minimice las pérdidas de calor y las infiltraciones de aire, priorizando la hermeticidad y el aislamiento.

Tabla 4. Evaluación de parámetros para selección de materiales de construcción según sus características.

	Características Exigibles de materiales de construcción NEC-11 cap. 13	Materiales Reciclados	Materiales Locales	Construcción desmontable	Materiales de alta tecnología eficientes en ahorro energético	Baja toxicidad material	Materiales naturales renovables	Criterio envolvente clima frío
<b>Cerámicos</b>	Azulejos		X			X		
	Baldosas		X			X		
	Ladrillos huecos		X			X		X
	Ladrillos macizos		X			X		X
<b>Conglomerantes</b>	Hormigón		X			X		X
	Bloque de hormigón		X			X		X
	Bloque de Piedra Pómez		X			X		X
	Cemento		X			X		X
	Cal hidráulica		X			X		X
	Panel de Yeso		X			X		X
	Plancha Fibrocemento		X	X		X		X
<b>Metales</b>	Plancha A. Galvanizado	X	X	X		X		
	Plancha Zinc	X	X	X		X		
	Plancha Aluminio	X	X	X		X		
<b>Maderas</b>	Tabla de pino	X	X	X		X	X	X
	Tabla de eucalipto	X	X	X		X	X	X
	Panel OSB	X	X	X	X	X	X	X
	Panel Madera reciclada	X	X	X	X	X	X	X
<b>Aislantes</b>	P. Reciclado Tetrapack	X	X	X	X	X		X
	Lana de roca		X	X	X	X		X
	Poliestireno EPS		X	X	X	X		X
	Prefabric. Cemento EPS		X	X	X	X		X
	Vidrios	X	X	X		X		

Fuente: NEC-11



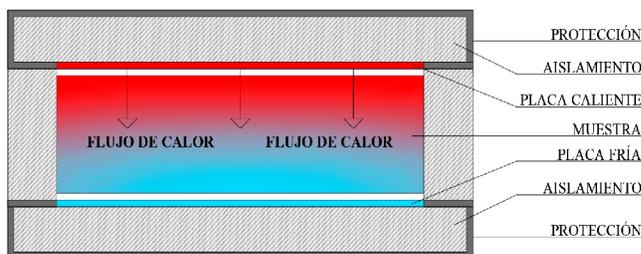
### MEDICIÓN DE TRANSMITANCIA TÉRMICA

Una vez evaluados los materiales que pueden servir como envolvente en viviendas de interés social en climas de paramo andino, se procedió a determinar las propiedades térmicas de los materiales que cumplen con más de la mitad de los parámetros establecidos. También se tomó en cuenta para las pruebas ciertos conglomerantes como cemento y cal, con los cuales se elaboró mezclas que comúnmente se usan como envoltentes y cimentaciones. No se realizaron pruebas en metales ni vidrios, puesto que estos tienen alta conductividad térmica. Este procedimiento es válido para materiales que tengan algo de resistencia a la transferencia de calor.

Se realizaron pruebas de transferencia de calor de tipo placa caliente (ISO 8302) específico para investigaciones en torno a dichos compuestos de fabricación local, para comprobar sus propiedades térmicas. En la actualidad, septiembre de 2016, en Ecuador en el “Laboratorio de Ensayos Térmicos en Materiales y Elementos de Construcción” (LABET) de la “Escuela Superior Politécnica del Litoral” (ESPOL) se cuenta con un aparato de medición de tales características. El aparato de origen alemán es el medidor de conductividad térmica  $\lambda$ -meter EP500 que sigue métodos de ensayo para la determinación de las propiedades de transmisión térmica en estado estacionario de muestras de aislamiento térmico con un calentador delgado de densidad de potencia uniforme con bajo flujo de calor lateral según criterios normativos de la ISO 8302. La norma establece criterios de laboratorio para la medida del flujo unidireccional y estacionario de calor a través de una muestra plana y homogénea de caras paralelas y espesor conocido testadas a temperaturas constantes mediante un sistema de placa caliente y placa fría. El ensayo se determina mediante la ley de Fourier la conductividad térmica (Velasco et al., 2016).

Para medir la muestra se coloca entre dos placas mantenidas a diferentes temperaturas, una de ellas es calentada y la otra placa enfriada, se usan transductores de flujo térmico (termopares) para medir el flujo de calor a través de la muestra. Los sensores de flujo de calor se componen de una serie de conexiones de termopares que abarcan una resistencia térmica, por ejemplo, una placa de cerámica o de plástico delgada. Un segundo flujo de calor se aplica ocasionalmente en la placa fría para medir la pérdida de calor y también para reducir el tiempo necesario para la medición. La temperatura de las placas se mide y se ajusta cuando se alcanza un valor constante. Las condiciones de estado estacionario se producen cuando la cantidad de flujo de calor es igual en cada punto del sistema estratificado. Para calcular la conductividad térmica, se usan las temperaturas de estado estacionario, el espesor de la muestra, el área medida del espécimen y el flujo de calor que se introduce en la placa caliente. Las condiciones adecuadas se ilustran en la imagen 5 la configuración de las superficies isotérmicas y líneas de flujo de calor constante dentro de la muestra. En la imagen 6 se muestra el proceso de preparación de los especímenes a ser medidos.

Imagen 5. Funcionamiento esquemático de ensayo de placa caliente protegida.



Fuente: Elaboración propia

Imagen 6. Secuencia de preparación de la muestra a ser examinada.



Paso 1. Elaboración de la muestra



Paso 2. Acondicionamiento de la muestra



Paso 3. Aislamiento de la muestra



Paso 4. Medición de la muestra

Fuente: Elaboración propia



Se realizaron las pruebas de laboratorio entre diciembre de 2016 y agosto de 2017 en LABET, conducidas por el Ing. José Macías, en muestras elaboradas con materiales locales, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 5. (Ver el Anexo)

Con estos resultados se procedió a estudiar la implementación de una envolvente apropiada para el clima de paramo andino. Varias normas y reglamentaciones (CTE, 2013) (MINVU, 2006) han establecido requerimientos mínimos sobre la transmitancia y aislamiento térmico de los materiales que forman una envolvente arquitectónica según sus condiciones climáticas (ver Tabla 1). A partir de este concepto se planteó elaborar pieles o envolventes de varias capas, siempre enfatizando en materiales de baja conductividad térmica, para lograr bajar el valor (U) y de esta forma minimizar la transferencia de calor del interior al exterior en la envolvente. Para la elaboración de las opciones se usaron los siguientes criterios de la Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social (Bustamante y Rozas, 2009):

-En la capa exterior usar un material con alta resistencia a la humedad, preferentemente impermeable.

-Usar en la capa intermedia un material con características aislantes.

-Para la capa interior implementar un material que de buen acabado y que ayude al aislamiento acústico.

-Que al formar la envolvente las uniones de estos materiales queden herméticos y estructuralmente seguros.

-Combinar de 3 o 4 materiales, ya que a medida que se aumenta el número y espesor de estos los valores U tienden a ser similares.

En la tabla 6 se muestra los diferentes valores de U obtenidos de las combinaciones planteadas, mediante la aplicación de la norma ISO 6946, para cada elemento de la envolvente (INEN 6946, 2007). Una vez evaluadas las distintas combinaciones se determinó usar para la opción 2 para envolvente en muros (la combinación con menor conductividad), la opción 3 para cubiertas (la de espesor más fino de menor conductividad) y la opción 15 para pisos. Con esta materialidad se realizó la simulación energética. En la imagen 7 se grafica un corte esquemático de la envolvente a ser analizada.

Tabla 5. Propiedades térmicas de materiales analizados en medidor de conductividad térmica  $\lambda$ -meter EP500 contrastados con valores estipulados en la norma (INEN 10456, 2014).

Materiales		Espesor (mm)	Valores obtenidos en medidor de conductividad térmica $\lambda$ -meter EP500		Valores térmicos declarados y de diseño de materiales para la edificación norma INEN-ISO 10456	
			Conductividad Térmica $\lambda$ (W / m °K)	Resistencia Térmica R (m <sup>2</sup> °K / W)	Conductividad Térmica $\lambda$ (W / m °K)	Resistencia Térmica R (m <sup>2</sup> °K / W)
Maderas	Pino	40	0.142	0.282	0.150	0.266
	Eucalipto	23	0.152	0.149	0.180	0.127
	Madera Reciclada certificada	13	0.108	0.120	0.130	0.100
	Madera OSB	10	0.124	0.081	0.130	0.077
Conglomerantes	Hormigón a base de cemento	120	0.545	0.22	1.150	0.104
	Hormigón a base de cal	102	0.656	0.156	1.000	0.102
	Mortero a base de cemento	24	0.465	0.052	0.550	0.044
	Mortero a base de cal	52	0.388	0.134	0.400	0.130
	Bloque hueco de piedra pómez	90	0.273	0.330	0.170	0.529
	Fibrocemento	14	0.221	0.064	0.230	0.061
Aislantes	Prefabricado Cemento con alma EPS	78	0.264	0.295	0.046	0.590
	Reciclado de Tetrapak	17	0.289	0.057	0.500	0.034
	Poliestireno Expandido EPS	75	0.034	2.206	0.039	1.923
	Lana de Roca	35	0.034	1.012	0.050	0.700

Fuente: Elaboración propia

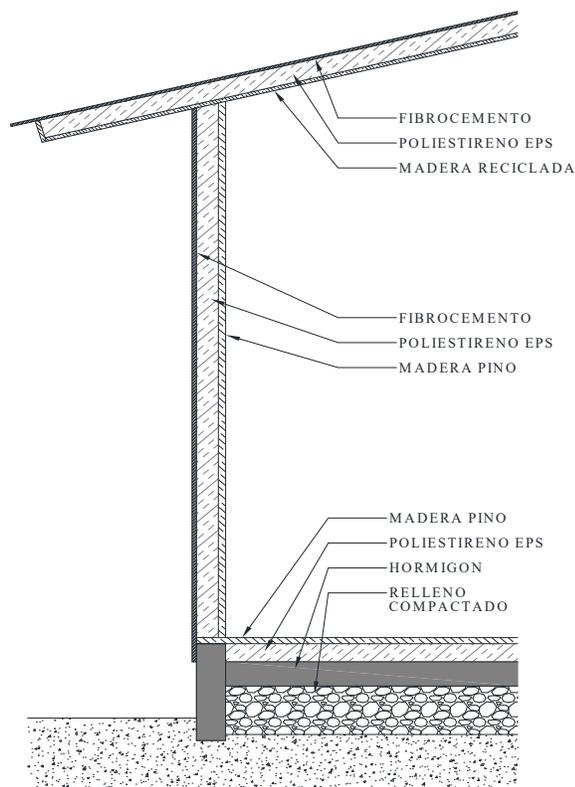


Tabla 6. Valores de transmitancia térmica (U) de las combinaciones para los elementos de envolventes según los criterios aplicados.

Opción	Capas			Espesor envolvente (mm)	Coeficiente de transmitancia U (W/m <sup>2</sup> °K) para cada elemento de la envolvente		
	Material	Espesor (mm)	R (m <sup>2</sup> °K /W)		Muro	Piso	Cubierta
1	Fibrocemento	14	0.064	103	0.399		0.404
	Poliestireno Expandido EPS	75	2.206				
	Fibrocemento	14	0.064				
2	Fibrocemento	14	0.064	113	0.383		0.388
	Poliestireno Expandido EPS	75	2.206				
	Tabla de pino	24	0.169				
3	Fibrocemento	14	0.064	102	0.391		0.396
	Poliestireno Expandido EPS	75	2.206				
	Tabla madera reciclada certificada	13	0.120				
4	Fibrocemento	14	0.064	98	0.424		0.429
	Lana de roca	70	2.059				
	Fibrocemento	14	0.064				
5	Fibrocemento	14	0.064	108	0.406		0.411
	Lana de roca	70	2.059				
	Tabla de pino	24	0.169				
6	Fibrocemento	14	0.064	97	0.414		0.419
	Lana de roca	70	2.059				
	Tabla madera reciclada certificada	13	0.120				
7	Reciclado de Tetrapak	17	0.057	106	0.400		0.405
	Poliestireno Expandido EPS	75	2.206				
	Fibrocemento	14	0.064				
8	Reciclado de Tetrapak	17	0.057	116	0.384		0.389
	Poliestireno Expandido EPS	75	2.206				
	Tabla de pino	24	0.169				
9	Reciclado de Tetrapak	17	0.057	105	0.392		0.397
	Poliestireno Expandido EPS	75	2.206				
	Tabla madera reciclada certificada	13	0.120				
10	Reciclado de Tetrapak	17	0.057	101	0.426		0.431
	Lana de roca	70	2.059				
	Fibrocemento	14	0.064				
11	Reciclado de Tetrapak	17	0.057	111	0.407		0.412
	Lana de roca	70	2.059				
	Tabla de pino	24	0.169				
12	Reciclado de Tetrapak	17	0.057	100	0.416		0.421
	Lana de roca	70	2.059				
	Tabla madera reciclada certificada	13	0.120				
13	Enlucido a base de cal	25	0.064	129	0.876		0.899
	Bloque hueco de piedra pómez	70	0.256				
	Lana de roca	20	0.588				
	Fibrocemento	14	0.064				
14	Enlucido a base de cal	25	0.064	128	0.835		0.856
	Bloque hueco de piedra pómez	70	0.256				
	Lana de roca	20	0.588				
	Tabla madera reciclada certificada	13	0.120				
15	Relleno compactado	400	0.200	599		0.336	
	Hormigón	100	0.183				
	Poliestireno Expandido EPS	75	2.206				
	Tabla de pino	24	0.169				
16	Relleno compactado	400	0.200	598		0.338	
	Hormigón	100	0.183				
	Poliestireno Expandido EPS	75	2.206				
	Tabla de eucalipto	23	0.149				
17	Prefabricado Cemento con alma EPS	78	0.295	126	0.626		0.638
	Lana de roca	35	1.012				
	Tabla madera reciclada certificada	13	0.120				

Fuente: Elaboración propia

Imagen 7. Esquema gráfico de envolvente a ser analizada.



Fuente: Elaboración propia

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### ANALISIS DE LA ENVOLVENTE (SIMULACIONES)

Para evaluar el comportamiento térmico-energético de la vivienda social desarrollada por el MIDUVI se utilizó el programa de simulación Energy Plus v8.7. Se prepararon 2 modelos para determinar su desempeño, tomando en consideración la materialidad de la envolvente arquitectónica y la definición de confort térmico.

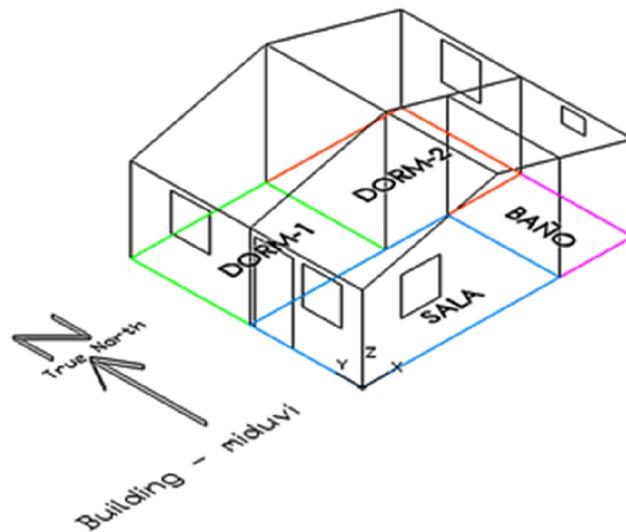
En el primer modelo se obtuvieron datos del estado actual de la vivienda tipo del MIDUVI y en el segundo se propondrá una mejora en la materialidad de la envolvente que favorezca al comportamiento térmico-energético de la vivienda. Para realizar las simulaciones en ambos casos, se ingresaron los parámetros climáticos obtenidos mediante una triangulación de las estaciones meteorológicas Zhuruca y de la Universidad de Cuenca y la estación del INHAMI M1212. Las estaciones meteorológicas están ubicadas en las cercanías de la cabecera cantonal de Pucara, con estos datos se construyó el archivo climático con extensión epw en el programa Elements. El modelo geométrico se elaboró a partir de los planos de construcción tomando en cuenta las especificaciones técnicas establecidas por el MIDUVI (ver imagen 8). Se orientó la vivienda según la norma (INEN 2506, 2009), de tal forma que las ventanas estén en sentido este-oeste para captación de calor en las mañanas y tardes. Para infiltraciones de aire se usó un valor de 0.1 m/s

considerado agradable en estado sedentario (ISO 7730, 2014). Los horarios de ocupación y ganancias internas se tomaron en base a la ocupación real de 4 usuarios promedios en las viviendas encuestadas, se configuro de la siguiente manera: ocupación de dormitorios de 19h00 a 7h00 y ocupación de la sala de 6h00 a 21h00. Como ganancias internas se ingresaron obediendo el número de usuarios, luces y equipos eléctricos con sus horarios de ocupación. Esta configuración es común para los 2 modelos.

### MODELO ACTUAL

El primer modelo es el estado actual de la vivienda del MIDUVI, donde se utiliza tecnologías de construcción convencional sin aislamiento. En la tabla 7 se describe los materiales usados, sus espesores y sus propiedades de conductividad, resistencia térmica y la transmitancia térmica del elemento constructivo. Se simulo un día de verano (día más caliente) y un día de invierno (día más frio), donde se observa que en el interior de la vivienda no se llega al rango de temperatura confortable con temperaturas entre 10 y 13°C. De igual manera de aplicar el rango de confort adaptativo no se llega a niveles de confort (ver gráfica 1). Debido a que los materiales usados tienen poca resistencia térmica, esto provoca que se utilicen métodos mecánicos de climatización para llegar a temperaturas confortables como se muestra en la gráfica 2. El uso de HVAC afecta directamente al consumo energético de la vivienda, que necesita grandes cantidades de energía para mantener los espacios dentro del rango de confort térmico. Se configuro el termostato de tal manera que se mantengan climatizados los espacios según su horario de ocupación a 19°C, esto es 1°C por encima del valor mínimo del rango de confort, para no elevar la demanda energética. La demanda energética para HVAC tiene una media mensual de 2 323 kWh (ver gráfica 3), mientras que la demanda máxima para acceder a la tarifa Dignidad es de 110 kWh al mes en la región sierra (Decreto Ejecutivo 451-A, 2007).

Imagen 8. Modelo geométrico ingresado en el programa Energy Plus v8.7.



Fuente: Elaboración propia

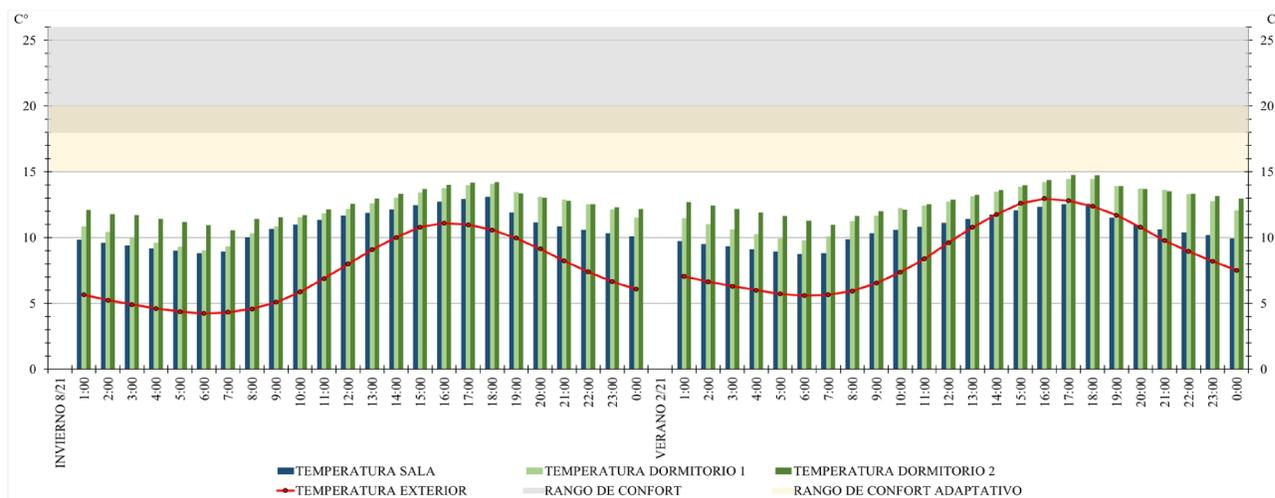


Tabla 7. Especificaciones y propiedades de materiales usados en el modelo actual.

Elemento	Material	Espesor (mm)	Conductividad Térmica $\lambda$ (W / m °K)	Resistencia Térmica R (m <sup>2</sup> °K / W)	Coef. Transmitancia Térmica U (W / m <sup>2</sup> °K)
Cubierta	Plancha de Fibrocemento	5	0.221	0.023	6.150
Paredes	Enlucido	20	0.465	0.043	1.706
	Bloque de piedra pómez	90	0.273	0.330	
	Enlucido	20	0.465	0.043	
Piso	Relleno compactado *	400	2	0.200	1.686
	Hormigón simple paletado	100	0.545	0.183	
Ventanas	Vidrio simple *	3	1	0.003	5.780
Puerta	Metal (acero) *	2	50	0.00004	5.881

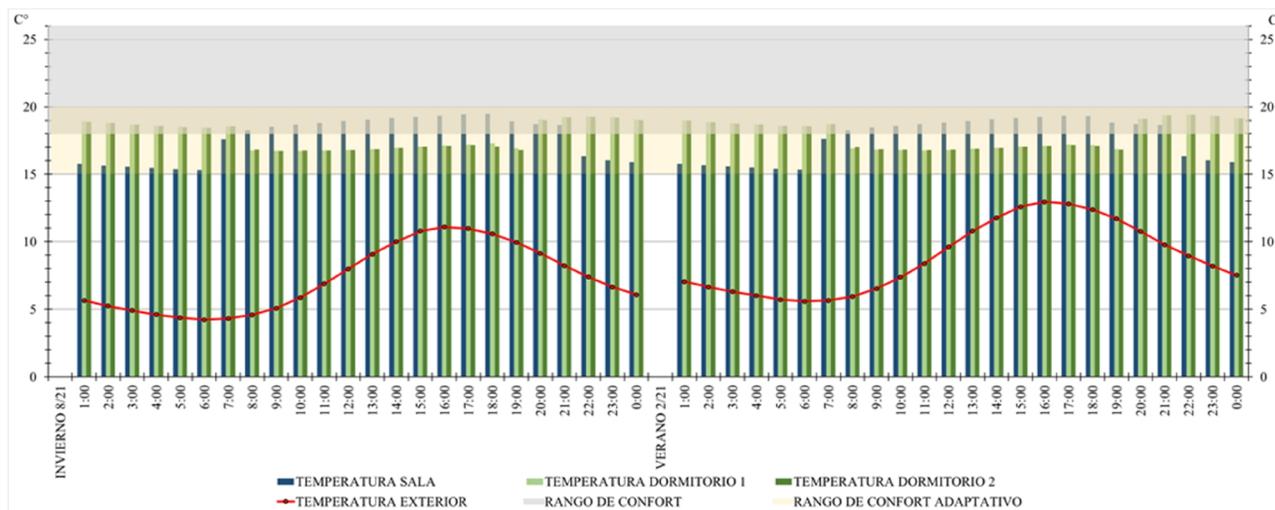
Fuente: Elaboración propia. \*Valores de Norma NTE INEN-ISO 10456 “Materiales y Productos para la edificación”

Gráfica 1. Comportamiento térmico de la vivienda actual sin HVAC en día de invierno y día de verano.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 2. Comportamiento térmico de la vivienda actual con HVAC en día de invierno y día de verano.

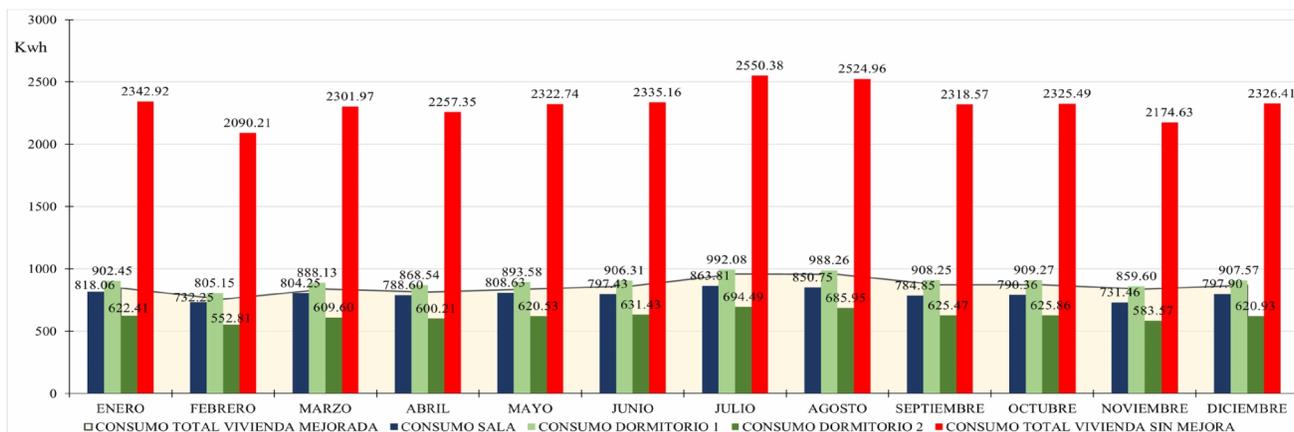


Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Gráfica 3. Comportamiento energético de la vivienda actual, demanda anual en HVAC.



Fuente: Elaboración propia

### MODELO CON MEJORAS EN LA ENVOLVENTE

Para este modelo se propone un cambio en la envolvente de la vivienda tipo del MIDUVI, mediante materiales dispuestos en capas, se enfatiza el uso de materiales aislantes. En la tabla 8 se describe los materiales usados, sus espesores y sus propiedades de conductividad y resistencia térmica y la transmitancia térmica del elemento constructivo. Se simuló un día de verano (día más caliente) y un día de invierno (día más frío), se observa que solo el dormitorio 2 llega al rango de temperatura confortable en el día de verano, mientras que el resto de espacios están entre 15 y 18°C (ver gráfica 4). Existe una mejora en la calidad térmica interior, sin embargo, no es suficiente para llegar al rango de

confort en todos los espacios. De aplicarse el rango de confort adaptativo se llega parcialmente a este, pero solo en los dormitorios. Se ve la necesidad de implementar un sistema HVAC para llegar a temperaturas confortables como se muestra en la gráfica 5. Se configuró el termostato de tal manera que se mantengan climatizados los espacios según su horario de ocupación a 19°C, esto es 1°C por encima del valor mínimo del rango de confort, para no elevar la demanda energética. La demanda energética para HVAC tiene una media mensual de 596 kWh (ver gráfica 6), de igual manera que el modelo actual se sobrepasa el mínimo de 110 kWh al mes para acceder a la tarifa Dignidad.

Tabla 8. Especificaciones y propiedades de materiales usados en el modelo con mejoras en la envolvente.

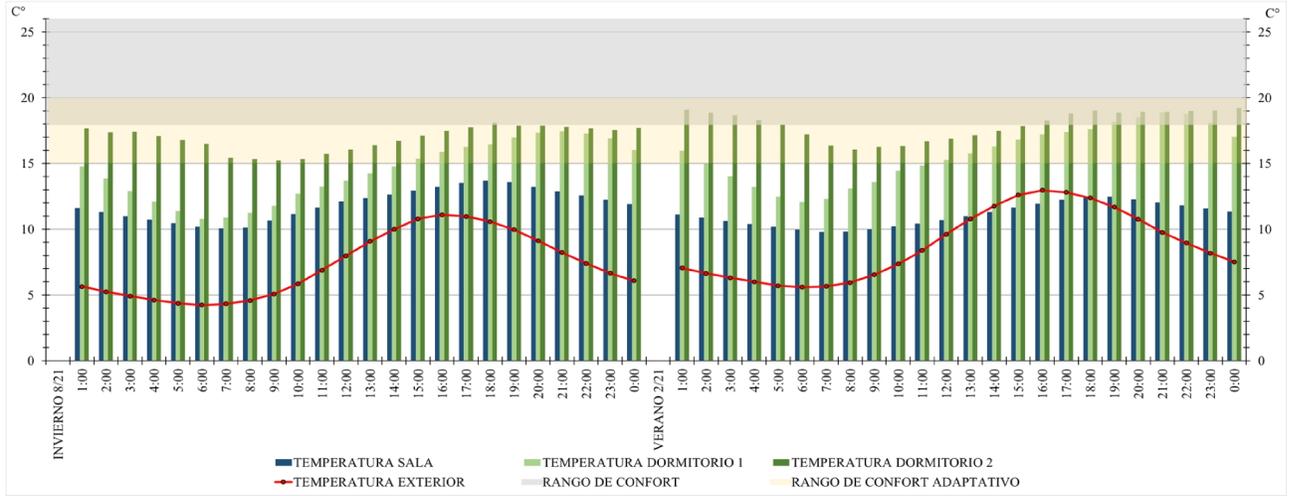
Elemento	Material	Espesor (mm)	Conductividad Térmica λ (W / m °K)	Resistencia Térmica R (m² °K / W)	Coef. Transmitancia Térmica U (W / m² °K)
Cubierta	Plancha de Fibrocemento	14	0.221	0.064	0.396
	Poliestireno expandido	75	0.034	2.206	
	Madera reciclada certificada	13	0.108	0.120	
Paredes	Panel de fibrocemento	14	0.221	0.064	0.383
	Poliestireno expandido	75	0.034	2.206	
	Madera de pino	24	0.142	0.169	
Piso	Relleno compactado *	400	2	0.200	0.336
	Hormigón simple paletado	100	0.545	0.183	
	Poliestireno expandido	75	0.034	2.206	
	Madera de pino	20	0.142	0.141	
Ventanas	Vidrio simple *	6	1	0.006	1.941
	Aire*	8	0.024	0.333	
	Vidrio simple *	6	1	0.006	
Puerta	Madera de pino	40	0.142	0.282	2.212

Fuente: Elaboración propia. \*Valores de Norma NTE INEN-ISO 10456 “Materiales y Productos para la edificación”



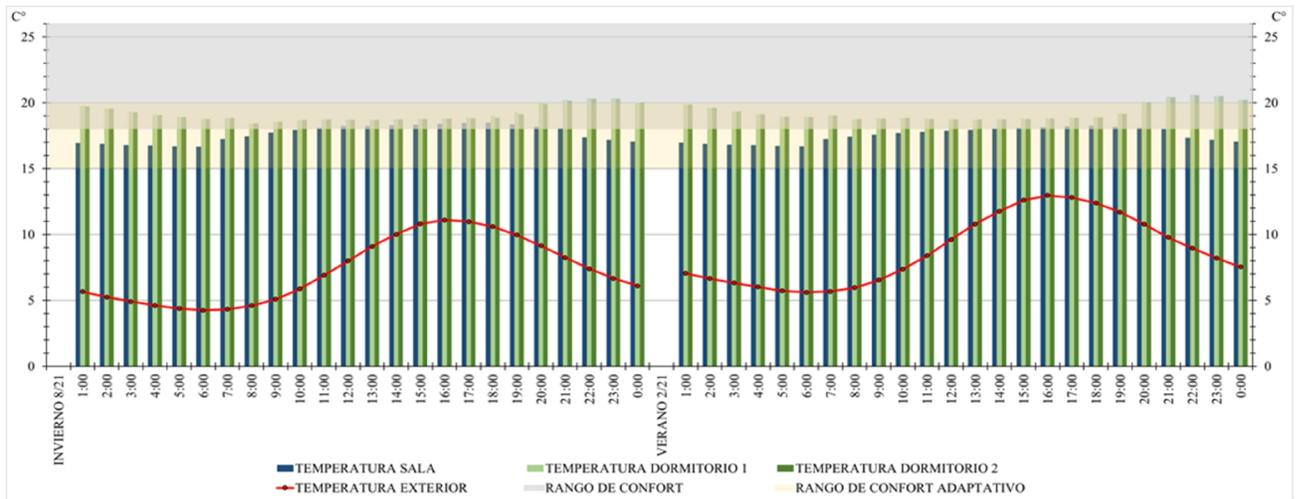
UNIVERSIDAD DE CUENCA

Gráfica 4. Comportamiento térmico de la vivienda con mejoras sin HVAC en día de invierno y día de verano.



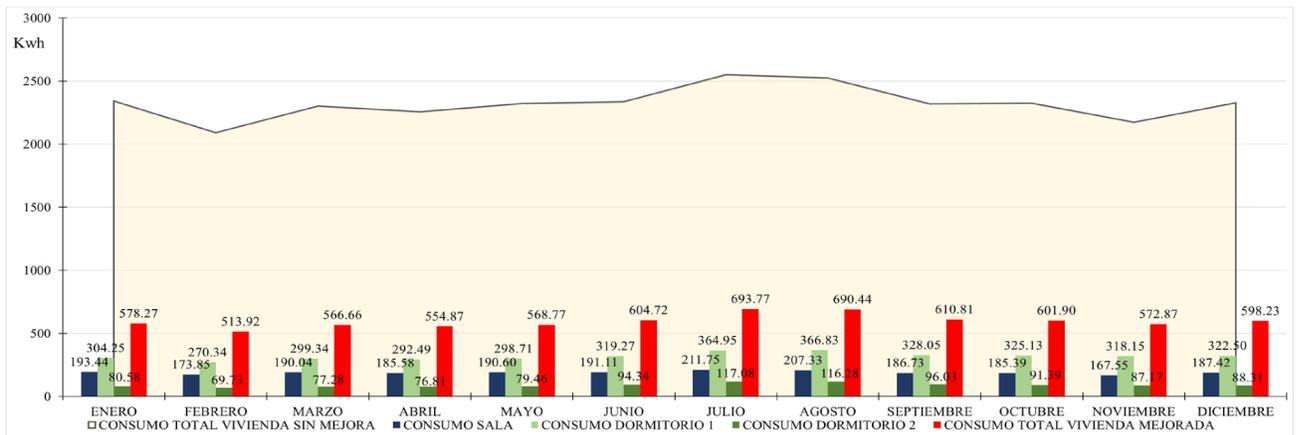
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 5. Comportamiento térmico de la vivienda con mejoras y HVAC en día de invierno y día de verano.



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 6. Comportamiento energético de la vivienda con mejoras, demanda anual en HVAC.



Fuente: Elaboración propia



El uso del sistema de climatización esté ligado directamente al consumo energético de una edificación. A su vez la utilización adecuada de materiales bioclimáticos mejora el desempeño energético del sistema de climatización y en algunos casos la calidad térmica de la envolvente conformada por dichos materiales funciona tan bien que se minimiza o anula la utilización de climatización artificial. En Ecuador se ha estudiado la mejora térmica en materiales como envolvente arquitectónica (Beltrán et al.2015), para llegar al rango de confort, y no se cuantifica el posible consumo energético usado en climatización artificial. La vivienda social está asociada a bajos recursos, la implementación de climatización artificial está subordinada al poder de adquisición de los usuarios. A pesar de que el costo de la electricidad es relativamente bajo para el sector residencial, si se accede a la tarifa de la dignidad (hasta 110 kWh al mes) es de \$0.04 por kWh de lo contrario es \$0.093 por kWh (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017) y el precio del cilindro de GLP (subsidiado) de 15 kg es de \$1.60 (Ministerio de Hidrocarburos, 2017) la demanda de energía para abastecer el sistema de climatización es tan alta (ver grafica 6) que no todos acceden a ella. Resulta más conveniente mejorar la envolvente arquitectónica o acondicionarla para mejorar el confort térmico interior (ver gráfica 7).

Por otro lado, según el estudio de Huang, en zonas rurales con climas fríos, los ocupantes de las viviendas no son tan sensibles a las temperaturas bajas del aire interior; el rango de aceptación de confort térmico usando calefacción en espacios interiores esta entre 14 y 15°C (Huang et al.,2010). La temperatura de neutralidad o rango de confort depende de variables físicas y biológicas en cierta medida cuantificables (clima, metabolismo y aislamiento térmico), a la vez que psicológicas (adaptación, tolerancia, experiencia y expectativa) cualificales, pero difícilmente cuantificables (Gómez, Bojórquez y Ruiz, 2007). A pesar de aplicar el modelo de confort adaptativo, en Ecuador los factores culturales son determinantes a la hora de precisar lo que es confort térmico. Debe ahondarse estudios sobre confort adaptativo por su diversidad de climas, el rango de confort térmico propuesto en NEC-11 debería ser más específico por zonas, regiones o altitudes.

## VI. CONCLUSIONES

Se estableció y se analizó las características del tipo de clima donde se muestra una temperatura promedio anual de 7.7°C, humedad relativa promedio de 89.5%, velocidad del viento de 2.9 m/s, radiación global promedio de 160.9 W/m<sup>2</sup> y precipitación anual de 1 197.6 mm. Es un clima frío, húmedo y con poca incidencia solar, se debería hacer un monitoreo para tener una idea más clara del comportamiento térmico real de la vivienda del MIDUVI en clima de paramo andino. Sin embargo, el tiempo y los recursos fueron limitados, lo que condiciona la precisión de los datos climáticos usados en este estudio. Por otro lado, se calculó el rango de confort según el modelo adaptativo de Nicol y Humphreys, dando un rango de confort de 15 a 20°C.

Para el clima de paramo andino varias normas, como el Código Técnico de la Edificación español (CTE, 2013) y la

Reglamentación Térmica chilena (MINVU, 2006), recomiendan envolventes de poca conductividad térmica para que no se pierda calor hacia el exterior. Se determinó la disponibilidad de materiales en el mercado local, enfocándose en materiales con poca conductividad térmica. Una vez seleccionados los materiales se realizaron ensayos de conductividad térmica por método de placa caliente resguardada en el aparato  $\lambda$ -METER EP500e. Con los datos obtenido se procedió a definir una mejora en la materialidad de la envolvente arquitectónica. Se comparó el funcionamiento térmico y el consumo energético con la implementación de los materiales definidos como mejora en contraste con los materiales actualmente utilizados en la vivienda social del MIDUVI.

Los resultados de la simulación demostraron que la vivienda tipo actual no responde adecuadamente al clima de paramo andino, ya que es una envolvente sin características aislantes. Las temperaturas interiores promedio van desde 10 a 13°C en comparación con la temperatura exterior promedio que es 8.8°C, existe un incremento de hasta un 32% en relación con el exterior. Con esto no se alcanza el rango de confort establecido por la NEC-11. Se definió una mejora en la utilización de materiales como envolvente arquitectónica, con predominio de materiales aislantes por capas. Se obtuvo un mejor comportamiento térmico interior con temperaturas promedio que van desde 15 a 18°C, en este caso existe un incremento de hasta un 51% en relación con el exterior. Con esta mejora se puede llegar al rango de confort establecido en la norma, teniendo en cuenta que se pueden aplicar criterios de confort adaptativo o complementarse mediante climatización artificial (Nicol y Humphreys, 2002).

El consumo energético está ligado al desempeño térmico de la envolvente, si se plantea la solución de climatización mecánica para llegar a rangos de confort de una vivienda. En este caso la demanda energética para mantener la vivienda a 19°C, con un horario de ocupación establecido, es para el modelo actual es de 2 323 kWh como media mensual. Mientras que en el caso planteado de mejora es de 596 kWh al mes. Observamos como el uso de materiales más eficientes, desde el punto de vista térmico, puede llegar a reducir en un 74% el consumo mensual de energía para calefacción. Con esto se demuestra que mediante la implementación de materiales bioclimáticos en la envolvente arquitectónica se tiene un comportamiento más eficiente en lo térmico y energético para el clima de paramo andino. Sin embargo, se podrían implementar en la vivienda tipo del MIDUVI más estrategias pasivas para optimizar las ganancias internas y el mantenimiento de calor, para obtener mejores resultados en los espacios interiores para el clima de paramo andino.

En general el aporte de este estudio es dar una referencia más específica de lo que se puede lograr con la implementación de materiales adecuados, en cuanto a mejora de la situación térmica interior en este tipo de vivienda en el clima analizado. Por otro lado, se presentan resultados reales de las propiedades térmicas de algunos materiales comunes en el mercado ecuatoriano que fueron obtenidos en experimentos de laboratorio. Se compararon los valores obtenidos en laboratorio y valores de diseño de la norma INEN-ISO 10456, dando valores similares en todos los casos con excepción en el caso de hormigones, esto se debe



porque al ser una mezcla de agua, cemento, arena y piedra; en su elaboración cualquier variación en la proporción afecta la composición final y características térmicas del mismo. Actualmente el MIDUVI ha trabajado en opciones y variantes de la casa tipo, que puedan adaptarse mejor al lugar donde se implantan. Dichas opciones se enfocan en agrandar la vivienda, dejando de lado estrategias pasivas y calidad de los materiales que forman la envolvente. Se busca aminorar los costos de estas viviendas para hacerlas más económicas y asequibles. La política del MIDUVI debería buscar un equilibrio costo-beneficio en la construcción inicial que permita aminorar costos operativos y mejoren la calidad de vida de los usuarios.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2017). Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/tarifas-del-sector-electrico/>

*arquitecturaenacero.org*. (2017). Obtenido de <http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/disenio-pasivo-envolvente-termica>

Azuay, G. P. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Azuay 2015-2030*. Obtenido de [http://www.azuay.gob.ec/prv/wp-content/uploads/2017/07/2015.Plan\\_Desarrollo\\_Ordenamiento\\_Territorial\\_Azuay.pdf](http://www.azuay.gob.ec/prv/wp-content/uploads/2017/07/2015.Plan_Desarrollo_Ordenamiento_Territorial_Azuay.pdf)

Baixas, J. (2012). Envoltentes: la piel de los edificios. (E. ARQ, Ed.) *Revista ARQ82*, 98-101.

Beltrán, D., Miño-Rodríguez, I., Lobato, A., Gallardo, A., & Carlos, N.-M. (2015). Thermal comfort performance within heritage buildings subject to a change of use. *Proceedings of the Mediterranean Green Building and Renewable Energy Forum*. Florence.

Bustamante, W., & Rozas, Y. (2009). Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social. (MINVU, Ed.) *II Tecnología de la Construcción*.

CONELEC. (2008). *Altas Solar del Ecuador*. Quito: Consejo Nacional de Electricidad.

CTE. (2013). Documento Básico HE. *Ahorro de Energía*. España: Código Técnico de la Edificación.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la colaboración y participación en el trabajo de campo del grupo de investigación "Implementación de Vivienda de Interés Social Experimental para la Evaluación de la Sostenibilidad en el clima de Páramo". Al Arq. Juan Diego Godoy, por su dirección y guía en este trabajo. Así como al PhD. Javier Collado por su codirección. Se reconoce la participación de el "Laboratorio de Ensayos Térmicos en Materiales y Elementos de Construcción" (LABET) de la "Escuela Superior Politécnica del Litoral" (ESPOL) y su Analista Técnico Ing. José Macías.

Cuitiño, Esteves, Maldonado, & Rotondaro. (2015). Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha. *Informes de la Construcción*, 67, 537-548.

Decreto Ejecutivo 451-A. (2007). *Tarifa de la Dignidad*. Quito. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/tarifa-dignidad/>

Funaro, R. (2011). Un espacio para el desarrollo de los mercados de vivienda. *Ideas para el Desarrollo en las Americas (IDEA)*, 26.

Gallardo, A., Palme, M., Beltrán, D., Lobato, A., & Villacreses, G. (2016). Analysis and Optimization of the Thermal Performance of Social Housing Construction Materials in Ecuador. *PLEA International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments*. Los Angeles.

Gómez, G., Bojórquez, G., & Ruiz, R. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa Revista de Investigación Científica en Arquitectura*, II(1), 45-57.

Huang, L., Zhu, Y., Ouyang, Q., & Cao, B. (2010). Field survey of indoor thermal comfort in rural housing of northern China in heating season. *Journal of Southeast University*, 26(2), 169-172.

INEN 10456. (2014). *Materiales y Productos para la Edificación. Propiedades higrótérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
MAESTRÍA EN ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA  
CONFORT Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

- INEN 2506. (2009). *Eficiencia Energética en Edificaciones. Requisitos*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN 6946. (2007). *Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de Cálculo*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- ISO 7730. (2014). *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local*. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Maidment, C., Jones, C., Webb, T., Hathway, A., & Gilbertson, J. (2014). The impact of Household energy efficiency measures on health: A meta-analysis. *Energy Policy* 65, 583-893.
- Martínez, C. (2005). Comportamiento Termico-energético de la envolvente de vivienda en S. M. de Tucumán en relación a la adecuación climática. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 9.
- Mena Vásconez, P., & Hofstede, R. (2006). Los páramos ecuatorianos. En *Botánica Económica de los Andes Centrales* (págs. 91-109). La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Mercado, M. V., Esteves, A., & Filippin, C. (2010). Comportamiento termico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina. En *Ambiente Construido* (Vol. 10, págs. 87-100). Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.
- MIDUVI. (2011). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11. *Capítulo 13. Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador*. Quito, Ecuador: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- MIDUVI. (2013). *Noticias: MIDUVI invirtió cerca de 2'300.000 dólares en Pucará*. Obtenido de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/miduvi-invirtio-cerca-de-2300-000-dolares-en-pucara/>
- MIDUVI. (2016). *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*. Obtenido de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/PROYECTO-PROGRAMA-NACIONAL-DE-VIVIENDA-SOCIAL-9nov-1.pdf>
- Ministerio de Hidrocarburos*. (2017). Obtenido de <http://www.hidrocarburos.gob.ec/subsidio-y-precio-de-gas-licuado-de-petroleo-se-mantienen/>
- MINVU. (2006). Manual de Aplicación Reglamentación Térmica. *Artículo 4.1.10*. Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- NCh 853. (2007). *Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización.
- Nicol, J., & Humphreys, M. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 563-572.
- Palme, M., Lobato, A., Gallardo, A., Beltrán, D., Castillo, J., Villacreses, G., & Almaguer, M. (2016). *Estrategias para mejorar las condiciones de habitabilidad y el consumo de energía en viviendas*. Quito: Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.
- Pourrut, P. (1995). *Estudios de Geografía. El Agua en el Ecuador Clima, precipitaciones, escorrentía* (Vol. 7). Quito: Corporación Editora Nacional.
- Rodrigo, Sanabria, Marchamalo, & Umaña. (2012). Análisis del confort y el comportamiento higrotérmico de sistemas constructivos tradicionales y actuales en viviendas de Santa Ana-Ciudad Colón (Costa Rica). *Informes de la Construcción*, 64, 75-84.
- Serra, R. (2000). *Arquitectura y Climas*. Barcelona: Gustavo Gili, SA.
- SICES. (2017). *Sistema Integrado de Conocimiento y Estadística Social del Ecuador*. Obtenido de <http://www.conocimientosocial.gob.ec/pages/EstadisticaSocial/herramientas.jsf>
- Team, M. R. (2011). *The Health Impacts of Cold Homes and Fuel Poverty*. London, UK: Department of Epidemiology & Public Health University College London.
- Velasco, L., Goyos, L., Delgado, R., & Freire, L. (2016). Instalación para medición de conductividad térmica en composites basados en residuos de biomasa. *Enfoque UTE, Vol.7-No.2*, 69-81.



## ANEXO

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA		Labet FT 08
	REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		
Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04	Página 1 de 3

Guayaquil, 22 de diciembre de 2016

Código de Solicitud S16-010

Atención: Arq. César Hidalgo  
 Institución: Universidad de Cuenca  
 Teléfonos: 593--99-951 8059  
 Dirección: Cuenca, Av. 12 de Abril y Av. Loja  
 e-mail: [cesarh28@gmail.com](mailto:cesarh28@gmail.com)

**Requerimiento:**

Ensayo para la determinación de conductividad térmica en 3 muestras. Los especímenes fueron dotados por el solicitante y consistieron de: una pieza de madera reciclada, una pieza de madera eucalipto, y una muestra de mortero a base de Cal.

**Métodología:**

El ensayo para la determinación de conductividad térmica es fundamentado en el estándar ISO 8302 por el método de placa caliente resguardada. El valor de la conductividad se obtiene en condición de estado estable, midiendo el espesor, el flujo de calor y las temperaturas superficiales fijas en ambas caras de la muestra. El procedimiento permite medir un rango de conductividades de 0.002 a 2.5 W / m-K. Las muestras deben ser de composición homogénea, de un tamaño mínimo de 150 x 150 mm<sup>2</sup> (área de medida de 150 x 150 mm<sup>2</sup>), con espesores desde 10 mm hasta 200 mm. Los ensayos se ejecutan a temperaturas medias desde -10°C hasta 50°C, con un diferencial de temperaturas entre placas de 15°C. El método muestra limitación en la aplicación sobre materiales heterogéneos o no isotrópicos. Las modificaciones al procedimiento estándar se listan en la hoja 2 del informe.

**Declaración:**

- \* Los Resultados del presente informe son atribuibles únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).
- \* El Labet no realiza procedimientos de muestreo.
- \* Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin autorización manifiesta del LABET.

José Maestas  
 Analista Técnico

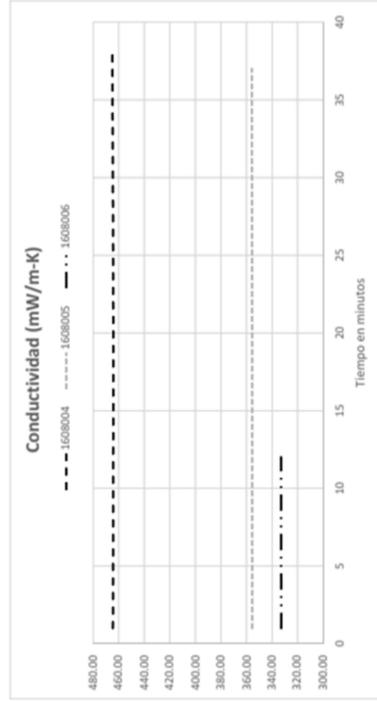
Guillermo Soriano  
 Responsable Técnico

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
[laboratorio.labet@iner.gob.ec](mailto:laboratorio.labet@iner.gob.ec)  
 593-42269703

22/12/2016

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	LABET FT 08
	Edición: 1 Revisión: 2015/12/01 Aprobado: 2016/01/04	Página 3 de 3

**Resultados**



Temperatura media de ensayo: 19.1 °C  
 Diferencia de Temperatura: 15 °C

Id. Muestra	Conductividad Térmica: W/m-K	Resistencia Térmica: m²-K/W
1608004	0.465 ±0.002	0.046
1608005	0.356 ±0.002	0.061
1608006	0.333 ±0.002	0.064

**Anexos:**

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

Analista Técnico  
 Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.lbet@iner.gob.ec  
 993-42269703

24/08/2016

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	LABET FT 08
	Edición: 1 Revisión: 2015/12/01 Aprobado: 2016/01/04	Página 2 de 3

**Equipamiento:**

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: λ-Meter EPS00e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m³	Otros (Color, composición)
1608004	150	150	21.41	872.05	1810.3	Bloque de mortero simple, Concreto, arena y agua.
1608005	150	150	21.71	815.59	1669.7	Bloque de mortero mezclado con tetrapack en capas.
1608006	150	150	21.15	753.22	1582.8	Bloque de mortero mezclado con tetrapack confinado.

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- Se aplicó sensor de película en lado caliente, más almohadilla de compensación de 500 micras.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes

**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 22.74 °C  
 Humedad Relativa: 60.02 %

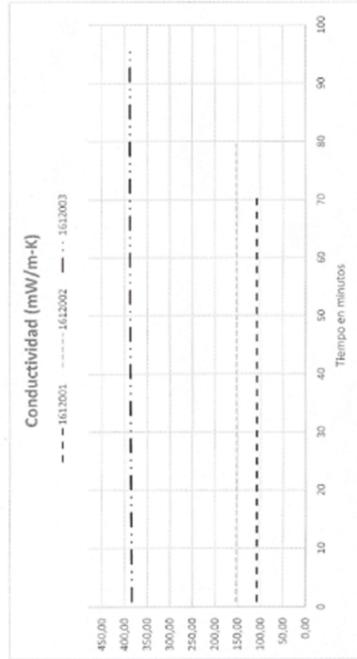
Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.lbet@iner.gob.ec  
 993-42269703

24/08/2016

	Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04	Pagina 3 de 3
	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			LABEL FT 08

S16-010

**Resultados**



Temperatura media de ensayo: 20 °C  
 Diferencia de Temperatura: 15 °C

Id. Muestra	W/m-K	W/m-K	W/m-K
1612001	0,108	0,152	0,388
1612002	0,120	0,149	0,134
1612003	m <sup>2</sup> -K/W	m <sup>2</sup> -K/W	m <sup>2</sup> -K/W

**Anexos:**

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

Análisis Técnico

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.iner@ucre.edu.ec  
 591-42269703

22/12/2016

	Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	Aprobado: 2016/01/04	Pagina 2 de 3
	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA			LABEL FT 08

S16-010

**Equipamiento:**

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messstechnik  
 Modelo: λ-Meter EP500e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: En1210  
 Verificación: 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	300	211	13	527,2	640,7	Madera Reciclada
2	150	150	22,6	445,2	875,5	Madera Eucalipto
3	150	150	52,15	1688,7	1459,2	Mortero a base de Cal, 1 parte de cal, 2 de arena.

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 3.-

**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 22,74 °C  
 Humedad Relativa: 64,02 %

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.iner@ucre.edu.ec  
 591-42269703

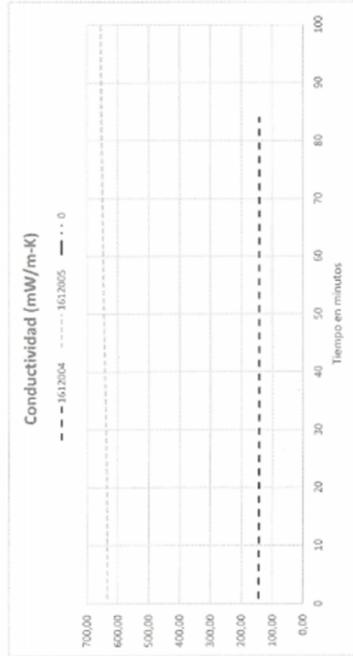
22/12/2016



	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>LABET FT 08</b>
	Edición: 1 Revisión: 2015/12/01 Aprobado: 2016/01/04	Página 3 de 3

S16-011

**Resultados**



Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

Id. Muestra	W/m-K	W/m-K	W/m-K
1612004	0.142	0.142	0.142
1612005	0.656	0.656	0.656

Id. Muestra	m²·K/W	m²·K/W	m²·K/W
1612004	0.282	0.282	0.282
1612005	0.156	0.156	0.156

**Anejos:**

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

Arquitecto Técnico

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Guayaño Galindo - Edificio 33  
 Laboratorio:laber@univer.gob.ec  
 591-42269703

22/12/2016

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>LABET FT 08</b>
	Edición: 1 Revisión: 2015/12/01 Aprobado: 2016/01/04	Página 2 de 3

S16-011

**Equipamiento:**

Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: X-Meter EP3006, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m³	Otros (Color, composición)
1	175	152	40	492,9	463,3	Madera Pino
2	151	147	102,3	4106,5	1808,4	Herramienta simple, 1.5 Cal, 3 Grava pequeña, 2 grava gruesa, 1 arena fina, 2 gruesa
3						

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- La muestra de pino estuvo conformada por dos piezas ensambladas previo ensayo, con la finalidad de cumplir con el área de medida requerida. Esta condición fue aceptada previamente por el solicitante.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 3.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial

**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 22,16 °C  
 Humedad Relativa: 63,90 %

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campus Guayaño Galindo - Edificio 33  
 Laboratorio:laber@univer.gob.ec  
 591-42269703

22/12/2016



	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>LABET FT 08</b> Página 2 de 3
	Edición: 1 Revisión: 2015/12/01 Aprobado: 2016/01/04	

**Equipamiento:** S17-001

**Equipo:** Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
**Modelo:** λ-Meter EPS100e, Version C.  
**Accesorio:** No se aplicó  
**Muestra de Verificación:** Em210  
**Verificación:** 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	150	150	14,1	444,4	1400,8	Pieza de fibrocemento, color gris
2	150	150	10,1	140,3	617,4	Pieza de madera OSB
3	150	150	16,5	389,7	1049,7	Pieza de Terrapack reciclado

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- La muestra de pino estuvo conformada por dos piezas ensambladas previo ensayo, con la finalidad de cumplir con el área de medida requerida. Esta condición fue aceptada previamente por el solicitante.
- 2.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 3.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial

**Condiciones ambientales de ensayo:**

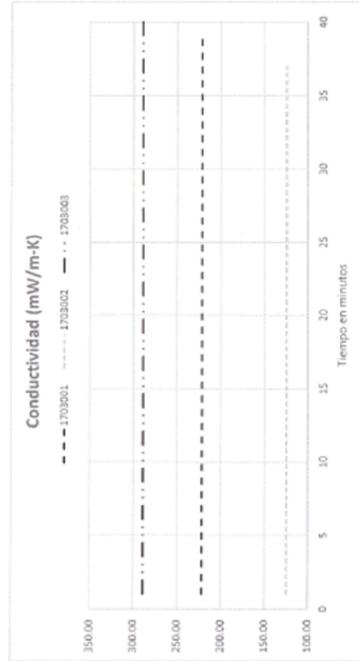
Temperatura Ambiente Promedio: 20.50 °C  
 Humedad Relativa: 66.70 %

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campos Guanovaldo - Edificio 33  
 laboratorios@iner.gov.ec  
 591-42289703

10/03/2017

	<b>LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA</b> <b>REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b>	<b>LABET FT 08</b> Página 3 de 3
	Edición: 1 Revisión: 2015/12/01 Aprobado: 2016/01/04	

**Resultados** S17-001



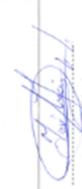
Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

Conductividad Térmica:	W/m-K	W/m-K	W/m-K	Id. Muestra
0.221	0.124	0.289		1703001
				1703002
				1703003
Resistencia Térmica:	m <sup>2</sup> -K/W	m <sup>2</sup> -K/W	m <sup>2</sup> -K/W	
0.064	0.081	0.057		1703001
				1703002
				1703003

**Anexos:**

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica



Analista Técnico  
 Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
 km 30.5 Vía Perimetral, Campos Guanovaldo - Edificio 33  
 laboratorios@iner.gov.ec  
 591-42289703

10/03/2017



	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	LABEL FT 08
	Edición: 1	Página 2 de 2
Revisión: 2015/12/01		Aprobado: 2016/01/04

**Equipamiento:** S17-002

**Equipo:** Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik

**Modelo:** λ-Meter EPS006, Version C.

**Accesorio:** No se aplicó

**Muestra de Verificación:** Etal210

**Verificación:** 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestra(s):**

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	150	150	34.7	65.9	84.4	Pieza de lama de roca, color gris
2	150	150	100.3	867.2	384.3	Panel compuesto OSB + poliestireno + fibrocemento.
3	150	150	101	1316.7	579.4	Panel compuesto OSB + fibra mineral + fibrocemento

**Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):**  
24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- La muestra de pino estuvo conformada por dos piezas ensambladas previo ensayo, con la finalidad de cumplir con el área de medida requerida. Esta condición fue aceptada previamente por el solicitante.
- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial

**Condiciones ambientales de ensayo:**

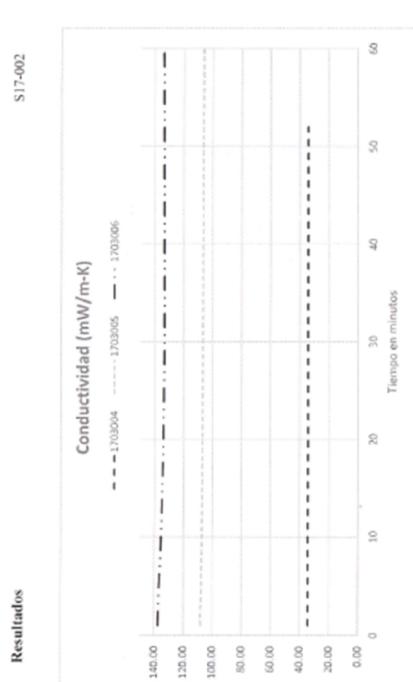
Temperatura Ambiente Promedio: 21.10 °C

Humedad Relativa: 70.50 %

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
Km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
laboratorio@iner.gov.ec  
591-42269903

10/03/2017

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	LABEL FT 08
	Edición: 1	Página 3 de 3
Revisión: 2015/12/01		Aprobado: 2016/01/04



**Temperatura media de ensayo:** 20 °C

**Diferencia de Temperatura:** 15 °C

Conductividad Térmica:	W/m-K	W/m-K	W/m-K	Id. Muestra
0.034	0.107	0.134		1703004
				1703005
				1703006
Resistencia Térmica:	m <sup>2</sup> ·K/W	m <sup>2</sup> ·K/W	m <sup>2</sup> ·K/W	
1.012	0.939	0.753		1703004
				1703005
				1703006

**Anejos:**

- No aplica
- No aplica
- No aplica

**Mediador Técnico**

Laboratorio de Ensayos Térmicos y Eficiencia Energética  
Km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
laboratorio@iner.gov.ec  
591-42269903

10/03/2017

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		LABEL FT 08 Página 3 de 3
	Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	

S17-021

Resultados



Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

Id. Muestra	W/m-K	W/m-K	W/m-K	m <sup>2</sup> -K/W	m <sup>2</sup> -K/W	m <sup>2</sup> -K/W
1708001	0,133	0,273	0,357	0,753	0,330	0,347
1708002						
1708003						

Anexos:

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labs@iner.gob.ec  
 593-42269703

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA		LABEL FT 08 Página 2 de 3
	Edición: 1	Revisión: 2015/12/01	

S17-021

Equipamiento:

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: A-Meter EP500e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

Condiciones de la(s) Muestra(s):

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m <sup>3</sup>	Otros (Color, composición)
1	150	150	100	890	395,6	Panel compuesto OSB + lana de roca + aire + fibrocemento
2	150	145	90	1727,7	882,6	Bloque de hormigón ligero hueco.
3	150	150	124	3474,3	1245,3	Muestra compuesta de motero y bloque de hormigón ligero.

Acondicionamiento de la(s) Muestra(s):

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

Modificaciones al procedimiento o a las muestras:

- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 2.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones para mejorar el contacto superficial

Condiciones ambientales de ensayo:

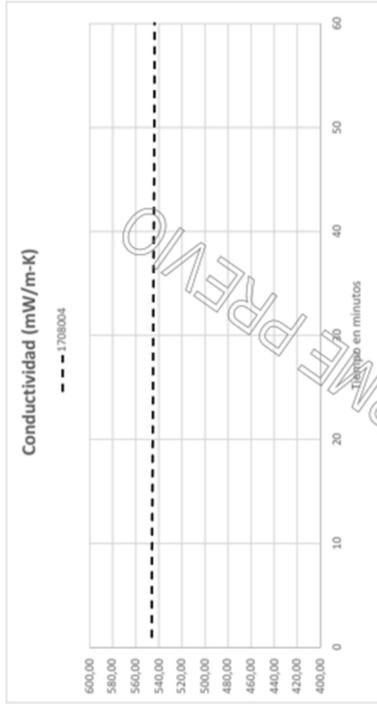
Temperatura Ambiente Promedio: 21,10 °C  
 Humedad Relativa: 70,50 %

km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.labs@iner.gob.ec  
 593-42269703

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	LABET FT 08 Página 3 de 3
	Edición: 1 Revisión: 2015/12/01 Aprobado: 2016/01/04	

S17-022

**Resultados**



Temperatura media de ensayo: 20 °C

Diferencia de Temperatura: 15 °C

Conductividad Térmica: 0,545 W/m-K

Id. Muestra: 1708004

Resistencia Térmica: 0,220 m²·K/W

1708004

**Anexos:**

- 1.- No aplica
- 2.- No aplica
- 3.- No aplica

Analista Técnico

km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.lab@iner.gob.ec  
 593-42269703

	LABORATORIO DE ENSAYOS TÉRMICOS Y EFICIENCIA ENERGÉTICA REPORTE DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	LABET FT 08 Página 2 de 3
	Edición: 1 Revisión: 2015/12/01 Aprobado: 2016/01/04	

S17-022

**Equipamiento:**

Equipo: Medidor de conductividad térmica de placa caliente, Lambda-Messtechnik  
 Modelo: λ-Meter EPS00e, Version C.  
 Accesorio: No se aplicó  
 Muestra de Verificación: Etal210  
 Verificación: 2015-09-25

**Condiciones de la(s) Muestrat(s):**

Código	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Peso (g)	Dens. kg/m³	Otros (Color, composición)
1	150	155	120	5546,1	1987,8	Bloque de concreto típico, 210 kg/cm³
2						
3						

**Acondicionamiento de la(s) Muestrat(s):**

24 horas a 23°C, humedad bajo 80%

**Modificaciones al procedimiento o a las muestras:**

- 1.- Configuración adaptada a materiales de construcción no aislantes
- 2.- Por las irregularidades en las superficies de medición, fue requerido el uso de películas y soluciones, para mejorar el contacto superficial

**Condiciones ambientales de ensayo:**

Temperatura Ambiente Promedio: 22,60 °C

Humedad Relativa: 64,00 %

km 30.5 Vía Perimetral, Campus Gustavo Galindo, Edificio 33  
 laboratorio.lab@iner.gob.ec  
 593-42269703