

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ**

**Escuela de Posgrado**



“Estudio de la fibra de ichu incorporada como aislante térmico a un sistema de construcción en seco para su uso en envolventes de viviendas rurales ubicadas en zonas climáticas frías del Perú”

Tesis para obtener el grado académico de Magíster en Energía que  
presenta:

*Felix Martin Chea Gonzales*

Asesor:

*Enrique José Barrantes Peña*

Lima, Año 2022

## Informe de Similitud

Yo, Enrique José Barrantes Peña, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada:


“Estudio de la fibra de ichu incorporada como aislante térmico a un sistema de construcción en seco para su uso en envolventes de viviendas rurales ubicadas en zonas climáticas frías del Perú”

Del autor, Félix Martín Chea Gonzáles, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 17%. Asílo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 01/11/2022
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha:

San Miguel, 11/01/2022

1. Apellidos y nombres del asesor / de la asesora:	
2. <u>Barrantes Peña, Enrique José Paterno Materno, Nombre1 Nombre 2</u>	
3. DNI: 07913376	4. Firma,
6. ORCID: 0000-0002-9037-3358	5. 

## RESUMEN

La presente investigación propone incorporar la fibra natural de Ichu como aislante térmico en el sistema de construcción en seco (drywall). Su uso mitigaría la pérdida de calor de envolventes en viviendas de zonas climáticas frías del Perú. Esta investigación recopila datos sobre la conductividad térmica de un emparedado de fibrocemento con conglomerado de Ichu y además los compara con los obtenidos paralelamente de muestras con otro aislante térmico para la obtención de resultados relativos. El objetivo es recomendar un sistema estandarizado que incorpore recursos naturales. Es una investigación aplicada, experimental, cuantitativa y comparativa que analiza las cualidades del Ichu y su relación con otros materiales utilizados.

Se ejecutó el procedimiento planificado de ensayos en laboratorio con un equipo de placa caliente que permitió determinar la cualidad de aislante térmico del material compuesto por fibrocemento y conglomerado de fibra de ichu; fueron un total de 45 mediciones que arrojaron el valor promedio de conductividad térmica  $\lambda = 0.1078$  W/m. K con una precisión de +/- 5%, paralelamente se realizaron el mismo número de mediciones para los especímenes con lana de vidrio como aislante obteniéndose el valor promedio de conductividad térmica  $\lambda = 0.0848$  W/m K. También se calculó también el coeficiente de conductividad térmica de los rellenos obteniendo  $\lambda = 0.0943$  W/m. K para el conglomerado de Ichu y  $0.0729$  W/m. K para la lana de vidrio.

Estos resultados descriptivos de la adaptación de las teorías de la transferencia de calor a la situación particular de los emparedados propuestos en el estudio, permiten sugerir una equivalencia funcional entre ellos al igualar sus resistencias térmicas mediante la variación del espesor del relleno, basados en la correlación teórica producto de la aplicación de la ecuación de conductividad térmica de la de ley Fourier, estas equivalencias se plantean cuantitativamente para un rango de anchos comerciales y usuales en el sector de la construcción.

Además, se evaluaron en este trabajo aspectos de impacto ambiental, eficiencia energética y costos económicos que favorecieron a la propuesta con Ichu.

Palabras clave: *Aislante ecológico, Conglomerado de Ichu, Heladas Perú, Vivienda altoandina.*

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
I.1 Antecedentes .....	2
I.2 Hipótesis de la investigación .....	6
I.3 Objetivos de la investigación .....	6
I.4 Alcance de la investigación .....	7
I.5 Descripción de capítulos .....	7
CAPÍTULO I- FUNDAMENTOS Y CONTEXTO.....	10
1.1 Transferencia de calor y aislamiento térmico .....	10
1.1.1 El calor.....	10
1.1.2 La transferencia de calor.....	10
1.1.3 El aislamiento térmico .....	12
1.2 El clima en Perú .....	16
1.2.1 El fenómeno del friaje y las heladas .....	17
1.2.2 Estrategias de diseño por zonificación climática.....	19
1.3 Vivienda y sistemas constructivos .....	21
1.3.1 Estadísticas de la vivienda en el Perú.....	22
1.3.2 Norma nacional de construcción .....	29
1.3.2 Sistemas constructivos.....	30
1.4 El impacto ambiental.....	32
1.4.1 El análisis del ciclo de vida de los materiales.....	33
CAPÍTULO II- METODOLOGÍA .....	34
2.1 Planeación, normas y procedimiento de la metodología.....	34
2.1.1 Normas y guías de trabajo .....	34
2.1.2 Procedimiento de ensayos.....	34
2.1.3 Procedimiento de control y monitoreo de la incertidumbre .....	44

2.1.4 Equipos, instrumentos, materiales e insumos planificados .....	45
2.2 Aplicación y ejecución de la metodología .....	46
2.2.1 Preparación de materias primas .....	46
2.2.2 Extracción de muestras de materia prima (fibra de ichu) .....	49
2.2.3 Caracterización física de las muestras .....	50
2.2.4 Preparación de especímenes .....	56
2.2.5 Caracterización física de especímenes.....	61
2.2.6 Controles previos al ensayo de conductividad térmica.....	62
2.2.7 Ensayos y reportes .....	63
2.3 Recolección de datos.....	64
2.3.1 Conductividad térmica con lana de vidrio .....	64
2.3.2 Conductividad térmica con fibra de ichu 5-10-20 cm. ....	65
2.3.3 Conductividad térmica conglomerado de fibra de ichu .....	67
2.3.4 Conductividad térmica estructura metálica sin aislante.....	68
2.3.5 Conductividad térmica estructura de madera sin aislante.....	69
2.4 Control y monitoreo de la incertidumbre .....	69
CAPÍTULO III- RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN .....	73
3.1 Caracterización de especímenes- cuadro final .....	73
3.2 Análisis estadístico de resultados de conducción térmica.....	74
3.3 Evaluación de la conducción térmica de los rellenos.....	81
3.4 Equivalencia funcional entre la lana de vidrio y conglomerado de ichu .....	84
CAPÍTULO IV- EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL .....	86
4.1 Procedimiento .....	87
4.1.1 La celulosa como material de referencia .....	88
4.1.2 Alcance de la evaluación en el ciclo de vida de producto .....	92
4.1.3 Equivalencia: panel de celulosa (PC) - conglomerado de ichu (CI).....	94

4.1.4 Comparación lana de vidrio - conglomerado de ichu.....	97
4.2 Valoración cualitativa y comparación final de impacto ambiental.....	99
CAPÍTULO V- EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	102
CAPÍTULO VI- EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PRODUCTO.....	122
CONCLUSIONES .....	126
RECOMENDACIONES .....	128
BIBLIOGRAFÍA .....	129
APÉNDICES.....	132



## INTRODUCCIÓN

La presente consiste en un estudio de las propiedades de aislamiento térmico de las fibras de ichu como parte de un sistema de construcción en seco (drywall). El ichu se ha utilizado para construir casas desde la antigüedad debido a su capacidad para retener el calor y su abundancia en las regiones más frías del Perú. Por otro lado, el drywall es un sistema constructivo estandarizado, antisísmico, no inflamable, ligero y rápido, aunque con una baja calidad de aislamiento térmico, por lo que suele ir acompañado de materiales como lana de vidrio o roca mineral, que se colocan en el espacio creado entre las placas de los tabiques, pero reemplazadas en este estudio por bloques hechos de fibras de ichu.

Desde un punto de vista técnico, la envolvente de la vivienda, su sistema constructivo y los materiales que la conforman son temas medulares para obtener condiciones de confort térmico adecuadas por lo que deben contar con atributos aislantes apropiados en caso contrario ocasionaran aumento del consumo de energía y sus costos asociados.

Lamentablemente condiciones climáticas extremas y una problemática que integra factores económicos, sociales, políticos y técnicos causan más que un gasto extra de dinero, la pérdida de vidas humanas y fuentes de recursos alimenticios y de trabajo.

Las heladas y friajes son fenómenos climáticos presentes en diversas zonas del Perú que se encuentran con envolventes de viviendas no adecuadas para conservar condiciones de confort y eficiencia energética de un espacio climatizado.

Existe una brecha mayor a un millón de viviendas entre aquellas susceptibles de ser mejoradas y las que están proyectadas a intervenir por algún programa social, estas viviendas rurales de la sierra se caracterizan también por contar en los pisos como material predominante la tierra apisonada y en los techos calaminas, paja o tejas. Las puertas y ventanas son metálicas en la mayoría de los casos o de madera, pero sin consideraciones de aislamiento. Existen gran cantidad de grietas en los muros, elementos constructivos con amplias separaciones como en el caso de los encuentros de muro y techo. Todo esto implica que la vivienda no cuente con un adecuado aislamiento lo que conlleva a escapar del confort térmico por más que se cuente con un material en sus muros como el adobe material moderadamente aislante y superior al ladrillo en esa cualidad.

La informalidad en la construcción, la falta de calidad, estandarización y cualidad de buen aislante térmico en los materiales de construcción usados aunados a la inexistencia de sistemas de climatización y barreras aislantes explican el porqué de la magnitud de los problemas y daños causados por las heladas al igual que su repetición cíclica.

La justificación de este estudio radica en la problemática recurrente como consecuencias de los friajes y las heladas, evidentemente existe un inconveniente grave de planeamiento y prevención que incluye la relación vivienda y entorno. En este marco resulta de especial interés conocer métodos constructivos adecuados por su costo y facilidad de proceso además de las características termo aislantes de los materiales utilizados por estos sistemas constructivos para a partir de esto proponer alternativas que aseguren una zona de confort dentro de una vivienda factible y sostenible.

El presente trabajo por ende surge de la necesidad de constatar las medidas de conductividad térmica de materiales comercialmente utilizados en zonas urbanas y compararlos con materiales de la zona de fácil obtención en este caso la fibra de ichu. De este modo se proporcionará una investigación que contribuirá al conocimiento general del tema y pueda ser utilizado en proyectos sociales de vivienda mejorando técnicamente las cualidades termoaislantes de las viviendas en zonas de climas fríos, mediante el uso de un sistema de construcción en seco normado que incluya un aislante natural de la zona.

Debido a que no se cuenta con suficientes estudios a nivel nacional en cuanto al uso de la fibra natural también se aportaran datos nuevos de utilidad metodológica ya que podrían realizarse futuras investigaciones que usen metodologías compatibles de manera que posibiliten análisis conjuntos.

## **I.1 Antecedentes**

Faruk, Bledzki, Fink, & Sain. (2014) Proporciona una descripción general de los compuestos reforzados con fibra natural, centrándose en los tipos y fuentes de fibra natural, los métodos de procesamiento, las modificaciones de fibra, las matrices (petroquímicas y renovables) y su resistencia mecánica. Además, incluyen investigaciones futuras, desarrollos y aplicaciones recientes, y resumen los problemas clave que deben abordarse. En su artículo, resumen críticamente los hallazgos fundamentales del refuerzo de fibras naturales, principalmente para su uso en compuestos



poliméricos, y su desempeño entre 2000 y 2014. En total, se revisaron más de 525 artículos sobre este tema.

Entre sus conclusiones destacan que los materiales compuestos reforzados con fibra natural están ganando cada vez más importancia en aplicaciones automotrices, de construcción, aeroespaciales y otras aplicaciones industriales debido a su menor peso, resistencia y rigidez específica competitiva, recuperación mejorada de energía, secuestro de dióxido de carbono, facilidad y flexibilidad de fabricación y respeto al medio ambiente, así como su naturaleza renovable.

Viegas et al., 2014, recomienda buscar materiales alternativos para la aislación térmica de viviendas, reutilizando recursos. desarrolló un equipo de medición de la transmitancia térmica de materiales, basado en el principio de “caja caliente”. Durante un año se realizaron mediciones de los materiales más representativos agrupados en cuatro categorías: fibras naturales, plásticos, papel y tierra.

Luego de mediciones sobre los materiales seleccionados, se observa que las 5 muestras elegidas (botellas plásticas, poliestireno expandido reciclado, cartón corrugado, paja de trigo y polietileno reciclado) comprenden una alternativa factible de réplica por los agricultores familiares, pues los parámetros analizados en el estudio de factibilidad determinan que son de implementación sencilla, de muy bajo costo y con una óptima respuesta en cuanto a la aislación térmica.

Evon et al., 2015, fabricaron nuevos paneles de fibra de aislamiento térmico mediante moldeo por compresión a partir de una torta generada durante la biorrefinería de girasol. Los tableros de fibra eran mezclas cohesivas de un aglutinante natural y fibras lignocelulósicas de la torta de girasol. El aglutinante natural aseguraba la cohesión del tablero, y las fibras actuaban como cargas de refuerzo. Se examinó la influencia de las condiciones de moldeo, es decir, el tipo de aglutinante y el contenido del aglutinante, sobre la densidad del tablero, las propiedades mecánicas y de aislamiento térmico. El tablero de densidad media que contenía 20% de aglutinante a base de almidón era estable y mantenía las propiedades de aislamiento mecánico y térmico (conductividad térmica de  $0.078 \text{ W / m K}$ ). Podían ser usados en paredes y techos para el aislamiento térmico de edificios.

Asdrubali et al., 2015, notaron que el aislamiento de edificios se realiza comúnmente utilizando materiales obtenidos de productos petroquímicos (principalmente poli estireno) o de fuentes naturales procesadas con consumos de alta energía (lana de vidrio y roca). Estos materiales causan efectos perjudiciales significativos en el medio ambiente, principalmente debido a la etapa de producción, (uso de materiales no renovables y el consumo de energía fósil), y a la etapa de eliminación, (problemas para reutilizar o reciclar los productos al final de sus vidas). La introducción del concepto de "sostenibilidad" en el proceso de diseño de edificios alentó las investigaciones destinadas a desarrollar materiales aislantes térmicos y acústicos utilizando materiales naturales o reciclados. Algunos de ellos, como el kenaf o la fibra de madera, ya están comercializados, pero su difusión podría mejorarse aún más, ya que su rendimiento es similar al de los sintéticos. Otros están actualmente en estudio y su desarrollo solo se encuentra en una etapa temprana. El objetivo del documento es informar sobre el estado del arte de construir productos aislantes hechos de materiales naturales o reciclados que no se comercializan o apenas se comercializan. Se llevaron a cabo análisis comparativos considerando en particular las características térmicas en términos de conductividad térmica, calor específico y densidad. También se informaron datos sobre el rendimiento acústico de los materiales. Finalmente, se recopilaron datos de la evaluación del ciclo de vida para poner de manifiesto las ventajas medioambientales de estos materiales. Se prestó especial atención a las investigaciones enfocadas a explotar materiales locales e incluso subproductos industriales, ya que estos enfoques limitan respectivamente los impactos del transporte y la eliminación.

Charca et al., 2015, caracterizaron las propiedades térmicas de las fibras naturales según la norma ASTM C177. Los resultados muestran que la conductividad térmica varía de 0.047 a 0.113 W / m K, para esteras con fibras orientadas unidireccionales, siendo Ichu fino que tiene los valores más bajos. Para que la fibra fina de Ichu fuera competitiva en términos de costo por unidad de resistencia térmica, se redujo la densidad de la estera de fibra, organizando las fibras al azar. Los resultados muestran una reducción significativa en la densidad, sin aumentar significativamente la conductividad térmica. De acuerdo con estos resultados, las fibras de Ichu tienen propiedades de aislamiento térmico excepcionales. Además, este es el primer estudio realizado sobre el rendimiento térmico de esta fibra natural andina.

Eschenhagen et al., 2019, indican que el desarrollo de materiales basados en recursos renovables y de bajo costo es hoy un interés crucial para la ingeniería civil. Este trabajo pretende investigar dos nuevas fibras vegetales como refuerzo compuesto para la aplicación de aislamiento en la industria de la construcción. El tallo de miscanthus y girasol se ha seleccionado principalmente por su alto contenido de fibra, bajo contenido de agua después de la cosecha y disponibilidad. Estos criterios conducen a buenas propiedades estructurales y permiten una reducción en los costos de producción y transporte. Este estudio tuvo como objetivo demostrar la viabilidad de producir paneles cohesivos a partir de estas fibras lignocelulósicas y sus interesantes propiedades mecánicas y térmicas relacionadas de acuerdo con varios ligantes naturales.

Se ha demostrado la viabilidad de fabricar paneles con fibras de tallo de miscanto o girasol y aglutinantes naturales y sus interesantes propiedades relacionadas. En comparación con los materiales de aislamiento térmico existentes, estos dos experimentales aparecen como opciones viables para futuras aplicaciones comerciales. Por un lado, sus propiedades de flexión permiten un fácil manejo sin riesgo de romperlas cuando se colocan dentro de los edificios. Por otro lado, sus propiedades de aislamiento térmico están situadas en la misma gama de otros materiales de densidad media.

Sin embargo, para trabajos futuros y antes de usarlos dentro de edificios, se deben completar otras características entre las cuales ya es posible mencionar la permeabilidad al vapor de agua y la isoterma de sorción de vapor, resistencia al fuego y resistencia a roedores, plagas, etc. Además, también será necesario investigar las propiedades antimicrobianas (es decir, la resistencia a los hongos) de estos nuevos materiales. Las soluciones "verdes" que consisten en recubrir ésteres de glicerol en la superficie de los materiales aislantes demostraron recientemente su eficacia para prevenir el crecimiento microbiano / bacteriano a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos de conductividad térmica varían de 0.057 a 0.068 W / m K, para el tallo de miscanto y de 0.065 a 0.077 W / m K para el girasol.

## **I.2 Hipótesis de la investigación**

Hipótesis de Investigación:

El estudio del coeficiente de conductividad térmica del sistema constructivo en seco con placas de fibrocemento que incorpora un conglomerado de fibra natural Ichu como aislante térmico permite recomendar su uso en la envolvente de viviendas ubicadas en zonas climáticas frías del Perú.

Las variables consideradas en la investigación son:

- Densidad
- Longitud de la fibra de ichu
- Conductividad térmica
- Temperatura
- Diferencia de temperatura

## **I.3 Objetivos de la investigación**

a) Objetivo General:

Estudiar el sistema constructivo en seco (drywall) con placas de fibrocemento y un conglomerado de fibra natural Ichu como aislante térmico, para reducir la conductividad térmica de la envolvente de viviendas ubicadas en zonas climáticas frías del Perú.

b) Objetivos Específicos:

- Medir la conductividad térmica en el sistema conformado por drywall e ichu.
- Comparar la conductividad térmica del sistema propuesto con la de otro producto similar o sustituto (fibra de vidrio) y encontrar una equivalencia funcional.
- Modelar por computadora una vivienda unifamiliar con ubicación en zona climática fría incluyendo el tipo de muro estudiado y simular sus consumos energéticos, optimizar los resultados de la simulación de consumos energéticos

del modelo generado, mediante la variación de parámetros como la orientación, tipos de cerramiento, porcentaje de uso de instalaciones, entre otros, detectando las decisiones de diseño más influyentes para lograr eficiencia energética. Y determinar la bondad de nuestra vivienda optimizada en términos de eficiencia energética tomando como referencia un estándar internacional reconocido. (ASHRAE 90.1).

- Identificar las ventajas del uso de una fibra natural y nativa frente a productos sustitutos sintéticos. Aspectos ambientales y económicos

#### **I.4 Alcance de la investigación**

Medir el coeficiente de conductividad térmica del material compuesto por fibrocemento y la fibra de Ichu y verificar que los valores obtenidos lo convierten en una alternativa real a utilizarse en las envolventes de las viviendas en las zonas afectadas

Establecer las relaciones que existen entre características como la conductividad térmica, la densidad del material y los espesores de muro, y plantear alternativas equivalentes o superiores a los aislantes utilizados actualmente con el sistema de construcción en seco.

#### **I.5 Descripción de capítulos**

En un primer capítulo, se hará una revisión de los conceptos básicos relacionados con el trabajo de tesis. Inicialmente se enumeran los conceptos relacionados con la transferencia de calor y aislamiento térmico incluyendo las propiedades y clasificaciones relacionadas. Luego se describe el clima en el Perú y clasificaciones del mismo en función a los datos geográficos y estrategias de diseño arquitectónico recomendadas, además se incluye la definición de los fenómenos de friaje y heladas.

Posteriormente se introducirá el tema de la vivienda en el Perú describiendo a la misma sobre la base del análisis de datos estadísticos, mencionando su norma vigente y reseñando los sistemas constructivos más aplicados, así como referencia a un estudio anterior que hace una comparación entre los mismos. Este capítulo termina con las definiciones del impacto ambiental y el ciclo de vida de los materiales.

El segundo capítulo está dedicado a la metodología y comienza con la planeación de la misma puntualizando las normas y detallando el procedimiento que se llevara a cabo incorporando la lista y descripciones de las instalaciones, equipos y materiales empleados. Se prosigue con la aplicación y ejecución del procedimiento mencionado anteriormente incluyendo los ensayos y sus reportes respectivos. Este capítulo se cierra con la recolección de datos y la determinación de los niveles de incertidumbre de los mismos.

El capítulo tres presentará y analizará los resultados experimentales obtenidos a través de las pruebas, la evaluación específica de la variable conductividad térmica es un subcapítulo aparte que cubre los diferentes materiales incluidos en el estudio, además, la relación de equivalencia entre lana de vidrio e ichu a través de un coeficiente de homología aplicable a la dimensión del espesor para correlacionar con la conductividad térmica.

El cuarto capítulo se trata de la evaluación cualitativa y comparativa de los impactos ambientales de la lana de vidrio y del conglomerado de ichu, sobre la base de un estudio doctoral basado en el ciclo de vida de los materiales. La finalidad es evidenciar la superioridad del uso ecológico de uno de los materiales estudiados sobre el otro.

El capítulo quinto evalúa la eficiencia energética del conglomerado de ichu para lo cual se utilizaron los softwares Revit e Insight, en el primero se modeló la masa de una envolvente con dimensiones de vivienda rural promedio y se ubicó en una zona climática fría; luego se parametriza con varias variables como uso planificado y configuración de energía. También se ingresan las propiedades térmicas de los materiales que conforman la envolvente y completado el ingreso de los datos requeridos se genera el modelo analítico el cual pasa por una simulación luego de iterar diferentes parámetros en variadas condiciones nos brinda como resultado una comparación de referencia en unidades de consumo de energía por unidad de área.

Además, nos proporciona una métrica guía, el estándar ASHRAE 90.1, que podemos comparar y ver si estamos dentro de los límites esperados de los proyectos de conservación de energía, y si no es así, el programa permite cambios de parámetros y recálculos para que se pueden cerrar las brechas negativas, lo que suele suponer un cambio de materiales o de equipos eléctricos, salvo los que están en estudio, es decir, las

paredes y techos de la envolvente que deben mantener los datos originales hasta obtener un conjunto de unidades de potencia adecuadas para una construcción eficiente. Este es el sustento de la factibilidad de uso del material en estudio evaluado con un estándar internacional de eficiencia energética.

Finalmente, en el capítulo sexto se evalúa la viabilidad económica de la producción de los conglomerados de Ichu a nivel de propuesta económica comparando el resultado por unidad de producción de conglomerado con el precio comercial de su producto alternativo.



## **CAPÍTULO I- FUNDAMENTOS Y CONTEXTO**

En este capítulo se hace una revisión de los conceptos relacionados con la transferencia de calor, aislamiento térmico, clima y geografía, vivienda y sistemas constructivos, e impacto ambiental.

### **1.1 Transferencia de calor y aislamiento térmico**

#### **1.1.1 El calor**

El concepto de calor se ha explicado desde dos modelos: el sustancialista, que le asigna entidades similares a las de un fluido, y el dinámico, que lo relaciona con el movimiento, siendo este último modelo la base fundamental de la concepción actual de calor.

La concepción que se explica desde el modelo dinámico —energía— se caracteriza por postular que el calor es el intercambio de energía del sistema con el medio o sus alrededores; y/o las fuerzas o el movimiento de las partículas, involucrando la velocidad de reacción.(Camelo & Rodriguez, 2008)

En un artículo del año 2007 donde se analizan entre otros conceptos los de energía y calor planteados por diferentes textos universitarios de termodinámica los investigadores concluyeron que aun cuando muchos de los textos de la muestra observada presentaban el concepto de calor como una forma de transferencia de energía, en todos los textos analizados aparecen frases que confunden el calor como una forma de energía o lo definen como energía que se transfiere.

Finalmente establecieron la definición del calor como una transferencia de energía entre dos sistemas; el calentamiento se presenta cuando hay adición de energía y el enfriamiento cuando existe una disminución de energía. (Alomá & Malaver, 2007)

#### **1.1.2 La transferencia de calor**

El calor se transfiere por tres mecanismos distintos: conducción, convección y/o radiación. Habitualmente la transmisión de calor se produce por los tres mecanismos simultáneamente.

**Conducción:** Transferencia de energía que tiene lugar mediante un soporte físico (sólido o fluido) de manera que la energía interna de las zonas de mayor temperatura se desplaza hacia las de menor temperatura. Se trata de un intercambio molecular de energía



cinética, a la que suma el flujo libre de electrones (caso de metales) y el estado vibracional (caso de un sólido cristalino)..(Fernández & Corrochano, 2014)

Su tratamiento matemático es a través de la Ley de Fourier.

Ley de Fourier (flujo unidireccional)

En forma diferencial:

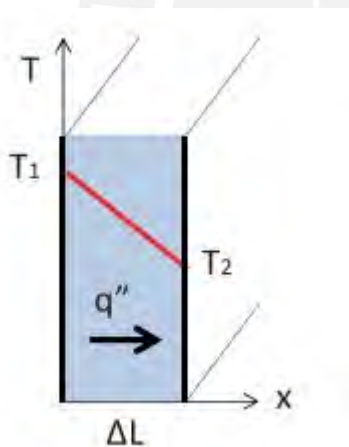
$$q = -k \cdot A \cdot \partial T / \partial x$$

$$q'' = -k \cdot \partial T / \partial x$$

En forma integrada:

$$q \text{ (W)} = k \cdot A \cdot \Delta T / \Delta L$$

$$q'' \text{ (W/m}^2\text{)} = k \cdot \Delta T / \Delta L \text{ con } \Delta T = T_1 - T_2$$



**Figura 1.1**

*Esquema de transferencia por conducción (Fernandez & Corrochano, 2014)*

$k$  es la conductividad térmica del material. Se relaciona con su capacidad para conducir el calor. Es una propiedad intrínseca de los materiales. Se expresa en W/m-K.

### 1.1.3 El aislamiento térmico

El aislamiento es un conjunto de materiales y técnicas de instalación aplicadas a los elementos de la edificación que separan espacios acondicionados del exterior u otros espacios para reducir la transferencia de calor entre ellos; en general, podemos decir que es la contraposición al flujo de energía que se crea por un diferencial de temperatura. Por tanto, un buen aislante debe ejercer un alto nivel de resistencia al flujo de calor, es lo que caracteriza a estos materiales.

#### 1.1.3.1 Las propiedades de los aislantes térmicos

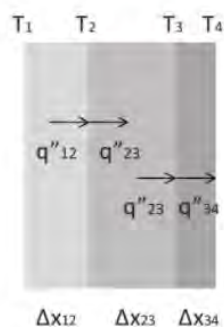
Conductividad: Indica la facilidad con que un material conduce el calor, esto es, transmite energía por el mecanismo de conducción. Recuérdese que la Ley de Fourier establece la proporcionalidad entre el flujo de calor y el gradiente de temperatura, a partir de la conductividad ( $\lambda$ ).

$$q''(W/m^2) = \lambda * \Delta T / \Delta L \quad (\text{Ecuación 1.1})$$

El objeto de estudio es una pared multi placa conformado por tres capas, para la evaluación de su conductividad térmica se empleará la ecuación en régimen permanente en una dimensión:

$$q''\left(\frac{W}{m^2}\right) = \frac{\Delta T_{1-3}}{(\lambda_1/\Delta L_1 + \lambda_2/\Delta L_2 + \lambda_3/\Delta L_3)} \quad (\text{Ecuación 1.2})$$

Pared multicapa



$$q''_{12} = q''_{23}$$

$$q''_{23} = q''_{34}$$

$$q'' = \frac{T_1 - T_2}{\Delta x_{12}/k_{12}} = \frac{T_2 - T_3}{\Delta x_{23}/k_{23}} = \frac{T_3 - T_4}{\Delta x_{34}/k_{34}}$$

$$q'' = \frac{q}{A} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\Delta x_{12}}{k_{12}} + \frac{\Delta x_{23}}{k_{23}} + \frac{\Delta x_{34}}{k_{34}}}$$

**Figura 1.2**

*Conductividad en pared multi placa. (Fernandez & Corrochano, 2014)*

Resistencia térmica (R): es una medida de resistencia térmica. Cuanto mayor sea el valor R, mayor será la efectividad aislante. El aislamiento térmico tiene las unidades  $[(m^2 \cdot K) / W]$ .

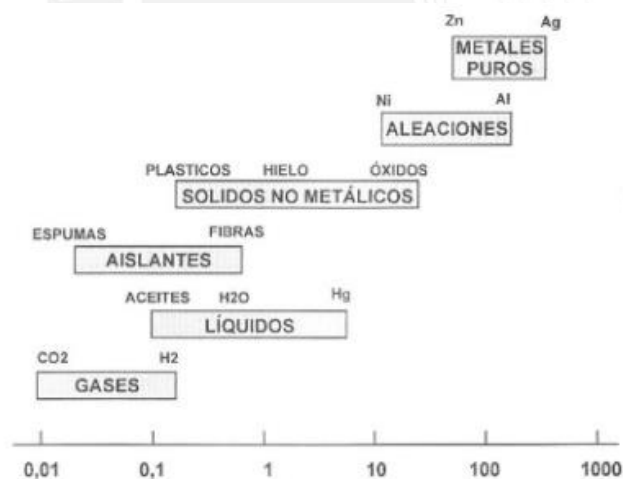
$$R = L/\lambda \quad (\text{Ecuación 1.3})$$

Conductancia (C): Se trata de una medida de transmisión térmica  $[W/ (m^2 \cdot K)]$ , calculada como inversa de la resistencia térmica.

$$C = 1/R \quad (\text{Ecuación 1.4})$$

### 1.1.3.2 Clasificación de los aislantes térmicos

Los materiales aislantes se emplean en cuando se desea reducir el flujo de calor entre un recinto y su entorno. Los hay de baja y alta temperatura. El carácter aislante se debe a la estructura porosa del material por lo que influye notablemente la densidad volumétrica aparente. La conductividad aumenta ligeramente con la temperatura.



**Figura 1.3**

*Rango de coeficiente térmico de materiales. (Fernandez & Corrochano, 2014)*

Existen diversas clasificaciones de los aislantes térmicos, por ejemplo, en cuanto al material aislante en sí o en cuanto al formato en el que se presenta. En cuanto al material como aislante térmico podemos diferenciar entre:

Aislantes sintéticos. Son aquellos compuestos por materiales sintéticos como el plástico, los polímeros procedentes del petróleo y otros materiales sintéticos. Son muy efectivos térmicamente. Los más comunes son:

- Poli estireno expandido (EPS). Es uno de los aislantes más utilizados por su densidad y baja conductividad térmica.
- Poli estireno extruido (XPS). Muy similar al anterior, pero con la ventaja de que se puede mojar sin problema ya que es muy absorbente. Se utiliza con frecuencia por sus múltiples aplicaciones.
- Poliuretano. Tiene un mayor rendimiento térmico que los anteriores, pero se usa generalmente proyectado como espuma.
- Rollos reflexivos. Son rollos formados por una o varias capas, de grosor variable, de burbujas de polietileno entre varias finas láminas de aluminio utilizados especialmente en zonas climáticas suaves.
- Lanas minerales. Es el material aislante más empleado. Son productos aislantes constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forman un fieltro que mantiene entre ellos aire en estado inmóvil. Resultan muy versátiles y eficaces ya que además de proporcionar un buen nivel de aislamiento térmico también actúan como aislamiento acústico y ofrecen un elevado nivel de protección contra el fuego. Dentro de las lanas minerales se distinguen fundamentalmente dos tipos:
  - Lana de roca o lana mineral (SW). Se fabrica a partir de roca volcánica y se presenta en forma de manta, panel no rígido o rollo. Se utiliza en cubiertas, forjados, fachadas, suelos, falsos techos, buhardillas o tabiques interiores.
  - Lana de vidrio (GW). Se fabrica fundiendo arena a altas temperaturas y su estructura está formada por finas fibras de vidrio unidas por un aglomerante o resina. Se considera mejor aislante acústico que la lana de roca y resiste mejor a la humedad. Al ser más liviana que otros aislantes y de muy baja conductividad térmica, consigue una mayor eficiencia con el mismo espesor.

Aislantes ecológicos o naturales. Su uso está cada vez más extendido porque no contienen sustancias ni aditivos y por tanto son más respetuosos con el medio ambiente.

Este tipo de aislantes, además, son reciclables y biodegradables. Los aislantes naturales más comunes son:

- Corcho. Es el de mayor aceptación porque además de sus buenas propiedades como aislante es reciclable y renovable. Se presenta en diferentes formatos; en forma de virutas para rellenar cavidades, en forma de paneles de corcho prensado o incluso proyectado para cubiertas o revestimiento de superficies.
- Lino. Procede de una planta de fácil cultivo de la que se obtienen fibras reciclables que se utilizan como aislante.
- Celulosa. Formada por residuos de papel que se reciclan en forma de aislante para su aplicación por insuflado en cámaras, trasdosados o sobre forjados.
- Lana de oveja. Aislante de procedencia animal que cuando se humedece mejora su capacidad de aislamiento.
- Arlita, perlita y vermiculita. Son aislantes minerales muy frecuentes en la construcción tradicional y de gran capacidad ignífuga.
- Fibra de coco y el algodón. También se utilizan como aislantes naturales en forma de mantas.

En la figura 1.4 se presenta un listado de aislantes térmicos más utilizados

	Material	$\lambda$	$\rho$	$C_p$	$a$	$b$
		W/mK	kg/m <sup>3</sup>	J/kgK	m <sup>2</sup> /s	J/m <sup>2</sup> K/s
1	Poliuretano	0,026	30	1400	6,19E-7	3,30E+1
2	Aire	0,026	1,223	1063	2,02E-5	5,85E+0
3	Poliestireno	0,035	50	1675	4,18E-7	5,41E+1
4	Espuma fenólica	0,038	30	1400	9,05E-7	3,99E+1
5	Lana de vidrio	0,041	200	656	3,13E-7	7,33E+1
6	Corcho comprimido	0,085	540	2000	7,87E-8	3,03E+2
7	Mortero de cemento	0,090	1920	669	7,01E-8	3,40E+2
8	Madera de construcción	0,130	630	1360	1,52E-7	3,34E+2
9	Madera de pino	0,148	640	2512	9,19E-8	4,87E+2
10	Madera pesada	0,200	700	1250	2,29E-7	4,18E+2
11	Concreto celular	0,220	600	880	4,17E-7	3,41E+2
12	Tierra con paja	0,300	400	900	8,33E-7	3,29E+2
13	Concreto celular	0,330	800	880	4,69E-7	4,82E+2
14	Yeso	0,488	1440	837	4,05E-7	7,67E+2
15	Mortero cemento/arena	0,530	1570	1000	3,38E-7	9,12E+2
16	Agua	0,582	1000	4187	1,39E-7	1,56E+3
17	Ladrillos de arcilla	0,814	1800	921	4,91E-7	1,16E+3
18	Tierra muro portante	0,850	2000	900	4,72E-7	1,24E+3
19	Vidrio plano	1,160	2490	830	5,61E-7	1,55E+3
20	Arcilla	1,279	1460	879	9,97E-7	1,28E+3
21	Piedra arenisca	1,300	2000	712	9,13E-7	1,36E+3
22	Concreto pesado	1,750	2300	920	8,27E-7	1,92E+3
23	Piedra	1,861	2250	712	1,16E-6	1,73E+3
24	Mármol	2,900	2590	800	1,40E-6	2,45E+3
25	Granito	3,500	2500	754	1,86E-6	2,57E+3
26	Acero	50	7800	512	1,25E-5	1,41E+4
27	Aluminio	160	2800	896	6,38E-5	2,00E+4
28	Cobre	389	8900	385	1,13E-4	3,65E+4
	Máx	389,000	8900	4187	1,13E-4	3,65E+4
	Mín	0,026	1	385	7,01E-8	5,85E+0
	Rango	388,974	8899	3802	1,13E-4	3,65E+4

**Figura 1.4**

*Lista de materiales y sus propiedades térmicas. (González 2014)*

## 1.2 El clima en Perú

Las características climáticas del Perú son peculiares por su extensión y relieve topográfico. La información climática presentada en el mapa climático nacional (SENAMHI, 2007) muestra una clasificación sustentada en información meteorológica de aproximadamente veinte años (1965 - 1984), con "Índices Climáticos" y zonas de acuerdo a la clasificación de climas de Werren Thornthwaite.

La clasificación de Thornthwaite se basa en la relación entre las precipitaciones y la evapotranspiración potencial, calculada esta última a partir de las temperaturas medias mensuales. Los datos de humedad relativa son considerados, aunque de forma indirecta, como factores que pueden influir en la evapotranspiración citada.

En la sierra sur tres climas son los que se caracterizan por la manifestación de heladas: Clima lluvioso semi- frígido (De tundra), clima frio o boreal (de los valles meso-andinos) y el clima lluvioso frio húmedo. Estos climas se presentan se presentan parcialmente en los territorios de los departamentos de Arequipa, Moquegua, Apurímac, Ayacucho y Cuzco, además de manera total en el departamento de Puno. Sin embargo, debemos agregar dos climas el lluvioso frio y el muy lluvioso templado presentes en otras zonas del país.

### 1.2.1 El fenómeno del friaje y las heladas

En la tabla 1.1 se resumen la ubicación de los tipos de clima con heladas en el territorio nacional y su grado de intensidad.

Desde el punto de vista meteorológico, se produce una helada cuando la temperatura ambiente desciende a 0°C o menos, observación que usualmente se hace con el termómetro de mínimas instalado en una caseta meteorológica. (SENAMHI & FAO, 2010).

Cada año este fenómeno tan cíclico como familiar a los peruanos, aunque sufrido solo por algunos; suma a las estadísticas víctimas mortales y damnificados. Si bien la problemática es amplia si nos enfocamos en la preservación de la vida humana un tipo de vivienda adecuada al ambiente climático es determinante e imprescindible para una vía de solución.

**Tabla 1.1**

*Climas, heladas y su ubicación. Perú. (SENAMHI, 2021)*

Clima	Ubicación	Manifestación
Frio o Boreal	Sur, Norte central	Heladas Fuertes
Lluvioso Semi frígido	Sur, Centro	Heladas
Lluvioso Frio	Centro	Heladas Fuertes
Muy lluvioso templado	Centro - Este	Heladas
Lluvioso Frio Húmedo	Sureste	Heladas

En un estudio “Consideraciones bioclimáticas en el diseño arquitectónico: el caso peruano” (Wieser, 2008) se esquematizaron sobre el ábaco psicométrico climas típicos del Perú con ejemplos de ciudades según la tabla 1.2.

**Tabla 1.2**

*Climas típicos y ciudades en ábaco psicométrico (Wieser, 2008)*

<b>Clima</b>	<b>Departamentos</b>
Cálido Húmedo	Iquitos, Pucallpa
Cálido Seco	Ica, Piura
Moderado	Trujillo, Lima
Frio	Puno

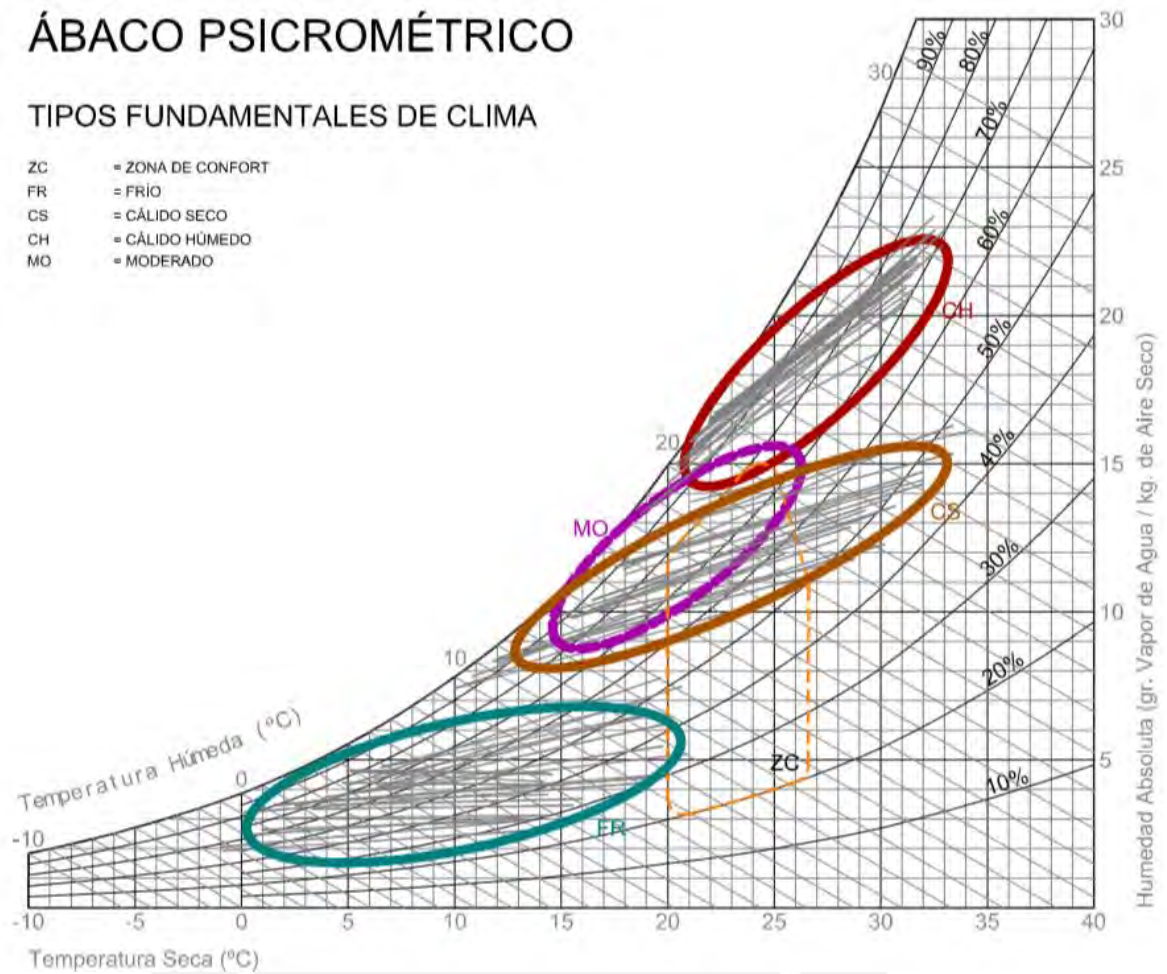
El resultado grafico se puede apreciar en la figura 1.5, el caso del ejemplo con la ciudad de Puno que es el refleja las zonas de heladas es bastante claro como para todos los casos y estaciones se mantiene fuera de la zona de confort.



# ÁBACO PSICROMÉTRICO

## TIPOS FUNDAMENTALES DE CLIMA

ZC	= ZONA DE CONFORT
FR	= FRÍO
CS	= CÁLIDO SECO
CH	= CÁLIDO HÚMEDO
MO	= MODERADO



**Figura 1.5**

Área de temperaturas que garantizan una sensación de confort en un ábaco psicrométrico. (Wieser, 2008)

### 1.2.2 Estrategias de diseño por zonificación climática

En el mismo estudio a partir de las condiciones particulares de la temperatura y de la humedad relativa del aire de cada una de las veinticuatro capitales de departamento de Perú, se superpuso las gráficas de la información mencionada y se obtuvo una zonificación climática para efectos de diseño arquitectónico compuesta por ocho zonas.

Zona	Denominación	Características climáticas	Extensión aproximada
1	Litoral tropical	Cálido húmedo todo el año. Amplitud térmica baja.	Costa litoral norte, desde Paita hasta la frontera.
2	Litoral subtropical	Moderado en temperatura y humedad relativa. Amplitud térmica baja.	Costa litoral, la franja de los primeros 15 km. ó 200 m.s.n.m.
3	Desértico	Cálido seco todo el año. Amplitud térmica media.	Costa entre la zona litoral y los 1000 m.s.n.m.
4	Continental templado	Templado todo el año, mayor humedad en verano. Amplitud térmica media.	Desde los 1000 m.s.n.m. en ambas vertientes de la cordillera. Limite superior coincide con la Región Natural Yunga (2300 m.s.n.m.).
5	Continental frío	Frio y seco todo el año, aunque mayor humedad en verano. Amplitud térmica entre media y alta.	Serranía entre los 2300 y los 3500 m.s.n.m., coincide con la Región Natural de Quechua.
6	Continental muy frío	Muy frío y seco todo el año. Amplitud térmica media y alta.	Serranía alta por encima de los 3500 m.s.n.m., coincide con las Regiones Naturales de Suni, Puna y Janca.
7	Selva tropical alta	Cálido húmedo. Amplitud térmica media con noches frescas.	Selva alta, entre los 500 y los 1000 m.s.n.m., cota que coincide con el límite de la Región Natural de Yunga Fluvial.
8	Selva tropical baja	Cálido húmedo todo el año con noches templadas y amplitud térmica baja.	Selva Baja, por debajo de los 500 m.s.n.m.

**Figura 1.6**

*Zonas climáticas del Perú para efectos de diseño arquitectónico. (Wieser, 2008)*

Para nuestro análisis nos interesan la zona continental frío y continental muy frío que es donde se presentan las temperaturas más bajas y para ellas se pueden identificar una serie de estrategias o recomendaciones generales para el diseño arquitectónico.

Son cinco las estrategias que se consideran imprescindibles o se recomiendan para estas dos zonas: Captación solar, Ganancias internas, Protección de vientos, Control de radiación e Inercia térmica. Un cuadro que muestra el grado de recomendación de cada una de las ocho estrategias consideradas para cada zona climática se puede encontrar en la figura 1.7.

ZONAS CLIMÁTICAS								
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Litoral Tropical	Litoral Subtropical	Desértico	Continental Templado	Continental Frio	Continental muy Frio	Selva Tropical Alta	Selva Tropical Baja
ESTRATEGIAS								
1 Captación Solar	-2	-2 / 1	-2	-1 / 1	1	1	-2	-2
2 Ganancias Internas	-1	-1 / 1	-1	1	-2	1	-1	-2
3 Protección de vientos	-1	-1 / 1	1	1	-2	-2	-1	-2
4 Inercia térmica	-1	1	1	-2	-2	-2	1	2
5 Ventilación diurna	1	1 / -1	-1	-1	-1	-2	1	1
6 Ventilación nocturna	1	1 / -1	1	1	-1	-2	1	1
7 Refrigeración evaporativa	1	1 / 0	1	1	0	0	-1	-1
8 Control de radiación	1	2 / 1	1	1	1	1	1	1

Imprescindible	2
Recomendable	1
Indistinto	0
No recomendable	-1
Peligroso	-2

**Nota:**  
En los casilleros que existan dos valores (b/y), las recomendaciones se dividen según la estación (verano/invierno).

**Figura 1.7**

*Estrategias por zonas climáticas.* (Wieser, 2008)

De entre las estrategias escogidas cabe resaltar la inercia térmica que se define como la capacidad de los elementos del edificio (estructura o cualquier elemento interior o circundante) de acumular calor al interior o en las inmediaciones cercanas; puesto que la acumulación de energía permite aislar, amortiguar y retardar el paso de la misma desde y hacia los ambientes interiores del edificio. Entre sus sistemas y recursos figuran los muros anchos y pesados o los mejorados con materiales aislantes estos últimos, parte del objetivo de nuestro estudio.

### 1.3 Vivienda y sistemas constructivos

Otro tema que debe abordarse en este estudio es el método constructivo de vivienda por el que se podría optar como respuesta a la problemática del frío extremo y la vivienda inadecuada, de manera que sea el más recomendable y factible tanto técnicamente como en el costo.

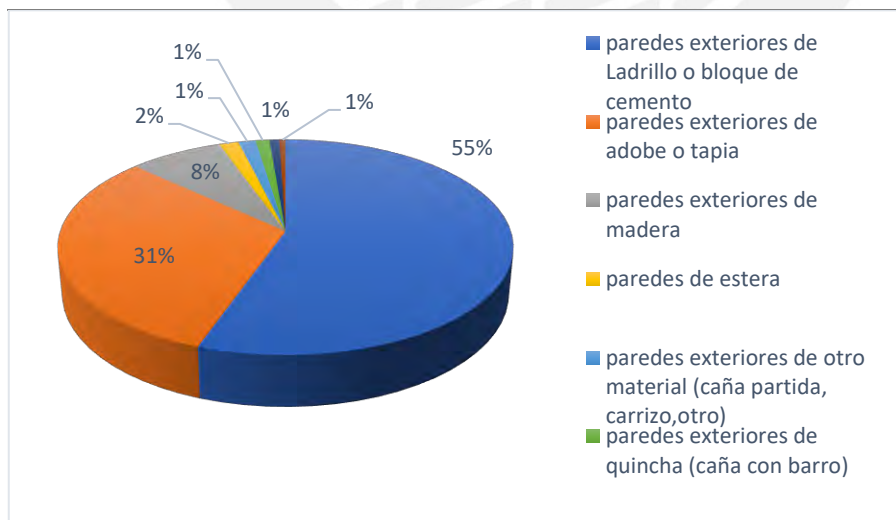
### 1.3.1 Estadísticas de la vivienda en el Perú

Este subcapítulo ofrece la información estadística existente y relevante al problema de estudio presentando las características respecto a materiales utilizados en las envolventes de las viviendas en el Perú. Además, se revisaron los datos brindados por Plan nacional multisectorial en contra de friaje y heladas 2019-2021 (SINAGERD, 2014), respecto a las ubicaciones con viviendas vulnerables a los efectos de estos fenómenos climáticos. Los materiales utilizados para la construcción de las envolventes paredes de viviendas a nivel nacional se clasifican en ocho grupos siendo los más importante en cantidad el grupo de ladrillo o bloque de cemento con 55.43% y el de adobe o tapia con 31.44% más detalles se pueden encontrar en la tabla 1.3 y la figura 1.8.

**Tabla 1.3**

*Viviendas por tipo de material en paredes ámbito nacional (INEI, 2019).*

Tipo de material en paredes ámbito Nacional	%
Viviendas con paredes exteriores de Ladrillo o bloque de cemento	55.43
Viviendas con paredes exteriores de adobe o tapia	31.44
Viviendas con paredes exteriores de madera	7.69
Viviendas particulares con paredes de estera	1.59
Viviendas con paredes exteriores de otro material (caña partida, carrizo, otro)	1.42
Viviendas con paredes exteriores de quincha (caña con barro)	1.13
Viviendas particulares con paredes de piedra con barro	0.81
Viviendas con paredes exteriores de piedra o sillar con cal o cemento	0.50
Total	100.00



**Figura 1.8**

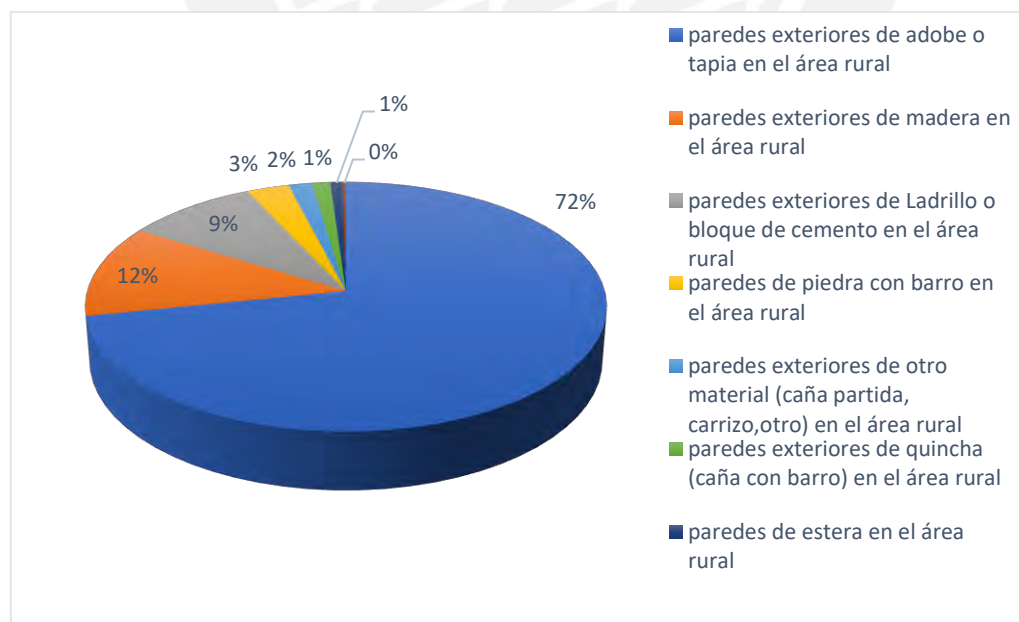
*Distribución por tipo de material en las paredes en ámbito nacional (INEI, 2019).*

En las tablas 1.4 y 1.5 se muestran los porcentajes por grupos de tipo de material en los ámbitos rural y urbano respectivamente. Se reflejan resultados inversos en cada uno de los casos en cuanto a los grupos que tienen el mayor porcentaje de uso, así mientras en el ámbito rural el ladrillo o bloque de cemento abarca 9.21% en el ámbito urbano es el 91.7%; de otro lado las paredes exteriores de adobe o tapia y de madera representan el 93.81% de viviendas rurales y solo 25.83% de viviendas urbanas. La distribución porcentual se visualiza en las figuras 1.09 y 1.10.

#### Tablas 1.4

*Viviendas por tipo de material en paredes ámbito rural (INEI, 2019).*

Tipo de material en paredes ámbito Rural	%
paredes exteriores de adobe o tapia en el área rural	71.81
paredes exteriores de madera en el área rural	12.00
paredes exteriores de Ladrillo o bloque de cemento en el área rural	9.21
paredes de piedra con barro en el área rural	2.97
paredes exteriores de otro material (caña partida, carrizo, otro) en el área rural	1.63
paredes exteriores de quincha (caña con barro) en el área rural	1.29
paredes de estera en el área rural	0.86
paredes exteriores de piedra o sillar con cal o cemento en el área rural	0.23
Total	100.00



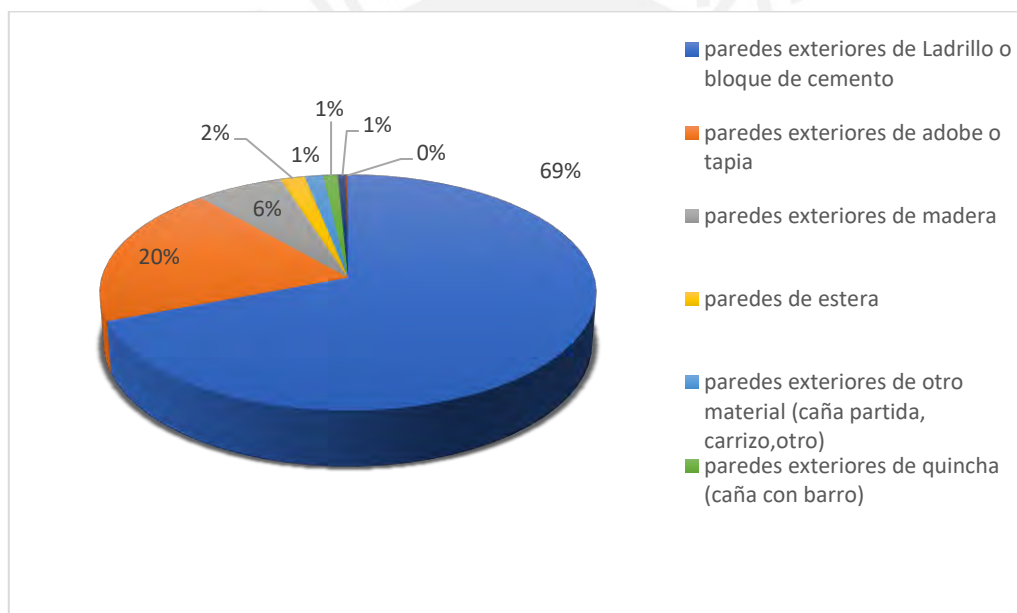
**Figura 1.9**

*Distribución por tipo de material en las paredes en ámbito rural(INEI, 2019).*

**Tabla 1.5**

*Viviendas por tipo de material en paredes ámbito urbano (INEI, 2019).*

Tipo de material en paredes ámbito Urbano	%
paredes exteriores de Ladrillo o bloque de cemento en el área urbana	69.17
paredes exteriores de adobe o tapia en el área urbana	19.43
paredes exteriores de madera en el área urbana	6.40
paredes de estera en el área urbana	1.81
paredes exteriores de caña partida, carrizo, otro en el área urbana	1.36
paredes exteriores de quincha (caña con barro) en el área urbana	1.08
paredes exteriores de piedra o sillar con cal o cemento en el área urbana	0.58
paredes de piedra con barro en el área urbana	0.17
Total	100.00

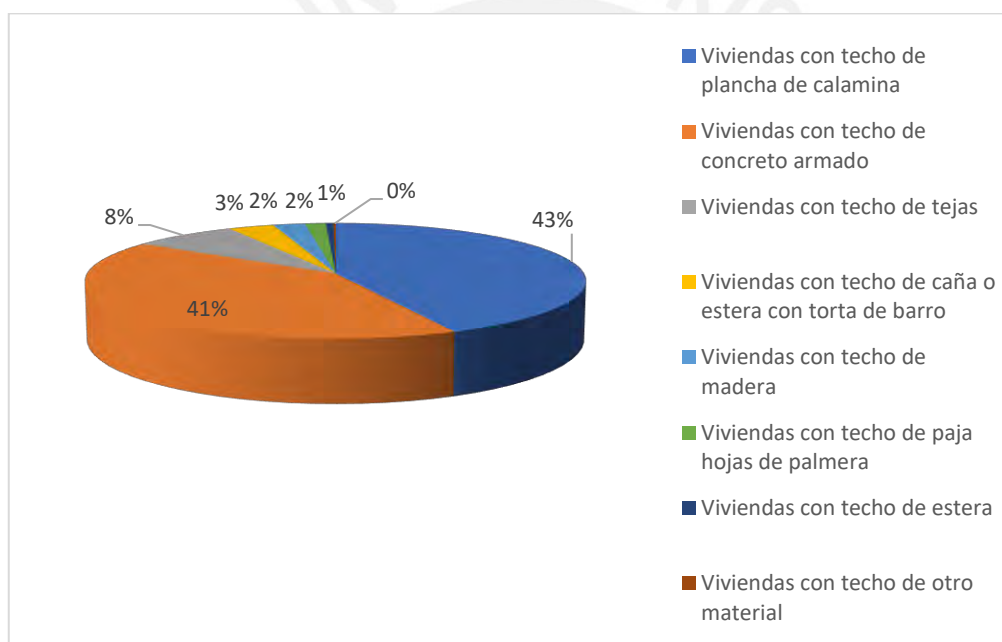
**Figura 1.10**

*Distribución por tipo de material en las paredes en ámbito urbano (INEI, 2019)*

Otra parte de la envolvente de una vivienda es el techo por lo tanto es necesario conocer también los materiales de los cuales está compuesto y su situación a nivel nacional. En la tabla 1.6 se muestran los tipos de material que se utilizan a nivel nacional, los que figuran con porcentajes más altos son la plancha de calamina con 43.05%, el concreto armado con 41.38% y el techo de tejas con 7.69 %; en la figura 1.11 se aprecia la distribución porcentual.

**Tabla 1.6***Viviendas por tipo de material en techos ámbito nacional (INEI, 2019)*

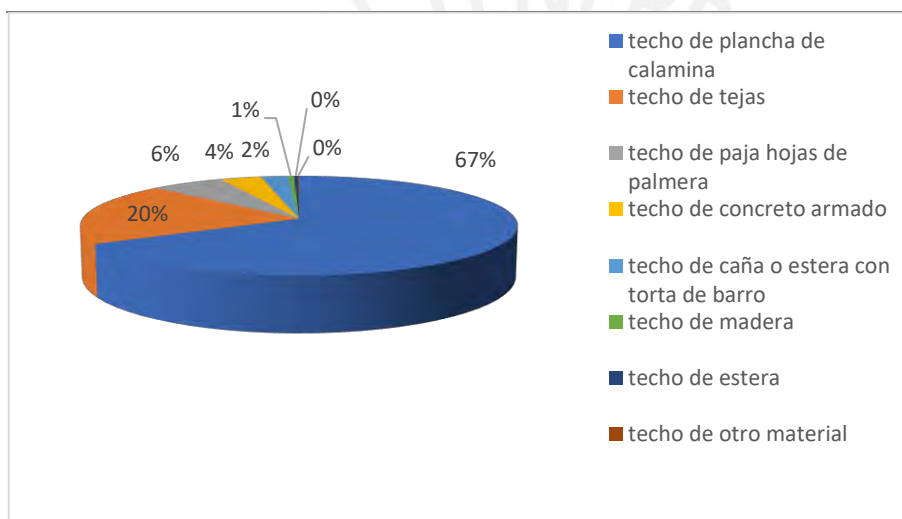
Tipo de material en techos ámbito nacional	%
Viviendas con techo de plancha de calamina	43.05
Viviendas con techo de concreto armado	41.38
Viviendas con techo de tejas	7.69
Viviendas con techo de caña o estera con torta de barro	3.31
Viviendas con techo de madera	2.33
Viviendas con techo de paja hojas de palmera	1.51
Viviendas con techo de estera	0.56
Viviendas con techo de otro material	0.18
Total	100.00

**Figura 1.11***Distribución por tipo de material en los techos en ámbito nacional (INEI, 2019)*

Cuando son separados los datos en ámbitos rural y urbano se destaca en el primero el uso de la calamina y las tejas que agrupados concentran agrupados el 88.58% mientras que en las zonas urbanas el material principal en techos es el concreto armado con 52.65% seguido por la calamina con 35.93%. Estos datos se presentan en las tablas 1.7 y 1.8 respectivamente y las distribuciones porcentuales por tipo de material de cada ámbito se presentan en las figuras 1.12 y 1.13.

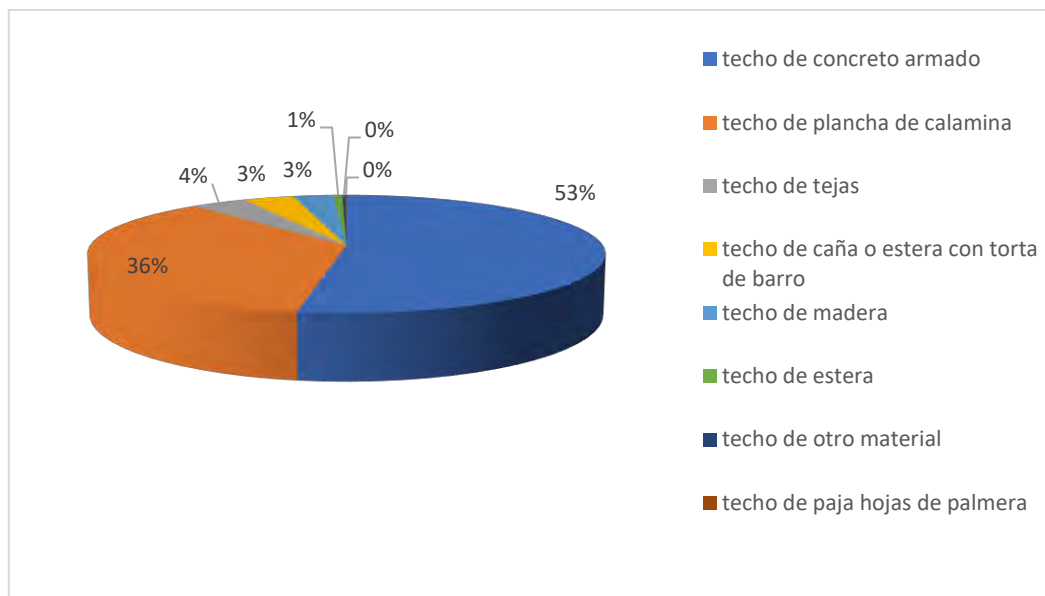
**Tablas 1.7***Viviendas por tipo de material en techos ámbito rural (INEI 2019)*

Tipo de material en techos ámbito rural	%
techo de plancha de calamina en el área rural	66.99
techo de tejas en el área rural	20.09
techo de paja hojas de palmera en el área rural	6.20
techo de concreto armado en el área rural	3.50
techo de caña o estera con torta de barro en el área rural	2.26
techo de madera en el área rural	0.54
techo de estera en el área rural	0.29
techo de otro material en el área rural	0.13
Total	100.00

**Figura 1.12***Distribución por tipo de material en los techos en ámbito rural (INEI 2019).***Tabla 1.8***Viviendas por tipo de material en techos ámbito urbano (INEI 2019).*

Tipo de material en techos ámbito urbano	%
Viviendas con techo de concreto armado en el área urbana	<b>52.65</b>
Viviendas con techo de plancha de calamina en el área urbana	<b>35.93</b>
Viviendas con techo de tejas en el área urbana	<b>4.00</b>
Viviendas con techo de caña o estera con torta de barro en el área urbana	<b>3.62</b>
Viviendas con techo de madera en el área urbana	<b>2.87</b>
Viviendas con techo de estera en el área urbana	<b>0.64</b>
Viviendas con techo de otro material en el área urbana	<b>0.19</b>
Viviendas con techo de paja hojas de palmera en el área urbana	<b>0.11</b>
Total	<b>100.00</b>





**Figura 1.13**

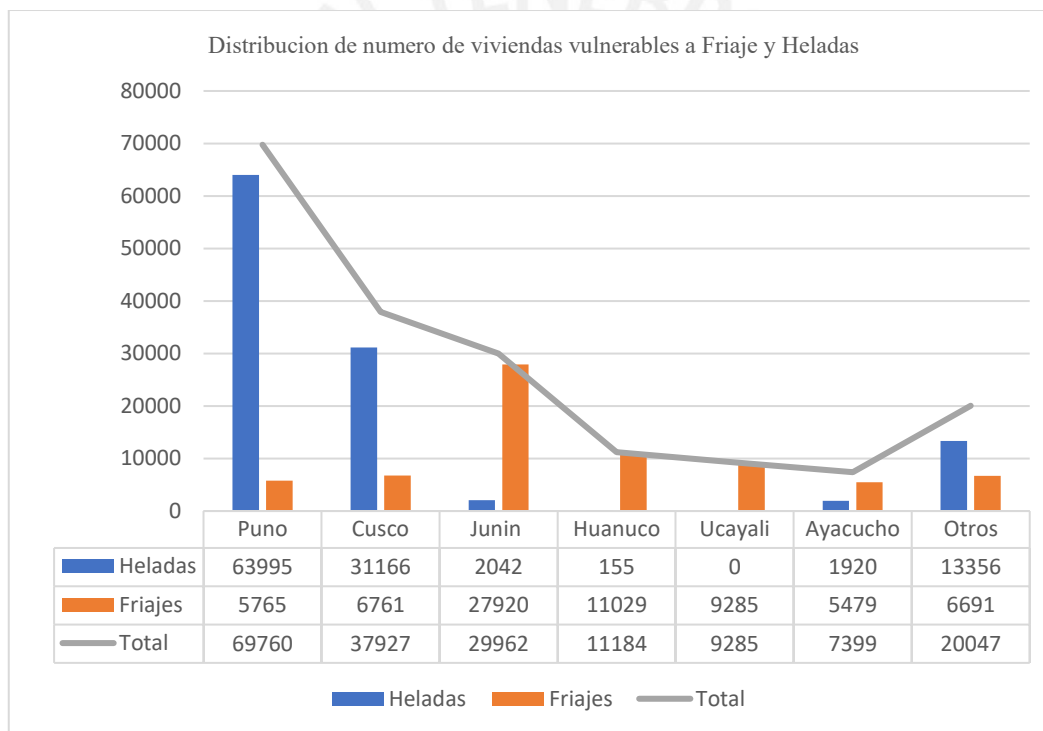
*Distribución por tipo de material en los techos en ámbito urbano (INEI 2019).*

La Tabla 1.9 resume la cantidad de viviendas focalizadas por departamento según el fenómeno meteorológico y prioridad dentro del plan multisectorial ante heladas y friaje 2020, para la elección utilizaron una combinación de niveles de susceptibilidad con los de vulnerabilidad detallados en su capítulo escenarios de riesgo. Son 185,564 viviendas focalizadas en total para la intervención aceleradora de viviendas térmicas / saludables; de ellas 55,465 y 130,099 en Prioridad 1 y 2, respectivamente y quedando relegada a otro momento las de prioridad 3. Como se observa, solo seis departamentos acumulan casi 90% de las viviendas que necesitan ser mejoradas: Puno, Cusco, Junín, Huánuco, Ucayali y Ayacucho

Si se analiza sólo las setenta y una provincias de dieciséis departamentos, que son afectadas por la helada y el friaje combinando los datos del Censo 2007 ENAHO y de Senamhi (ver apéndice 2) se observa que el porcentaje del uso de materiales diferentes al ladrillo o bloque de cemento es 69.94% lo que equivale a 1'213,539 viviendas (ver apéndice 1), si se descuentan las viviendas focalizadas aún se mantiene una demanda potencial a intervenir superior al millón de viviendas. Gráficamente se representan los datos en la figura 1.14 por departamentos y tipo de fenómeno.

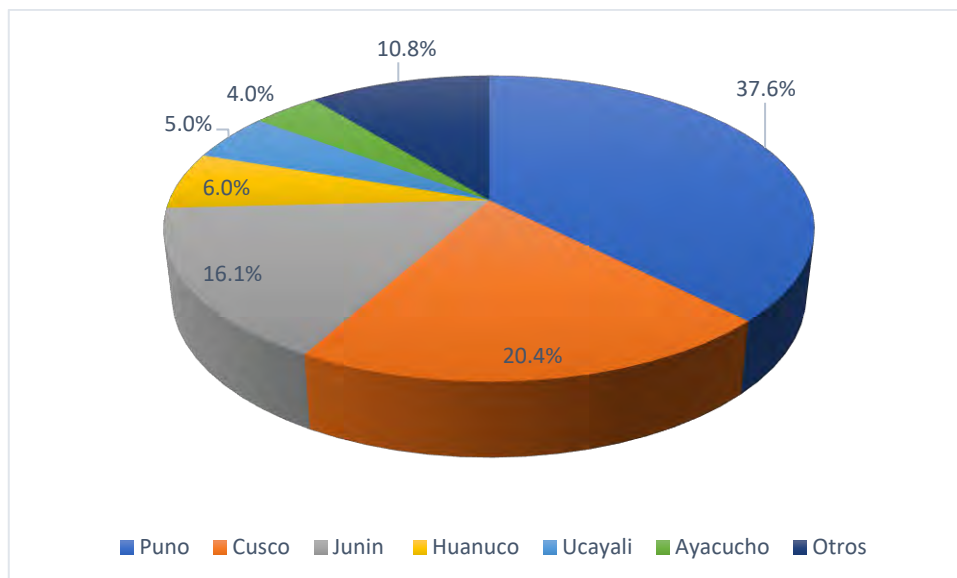
**Tabla 1.9***Viviendas vulnerables por departamento (SINAGERD, 2014)*

Departamento	Heladas	Frijajes	Total	%	% Acumulado
Puno	63995	5765	69760	37.6%	37.6%
Cusco	31166	6761	37927	20.4%	58.0%
Junín	2042	27920	29962	16.1%	74.2%
Huánuco	155	11029	11184	6.0%	80.2%
Ucayali	0	9285	9285	5.0%	85.2%
Ayacucho	1920	5479	7399	4.0%	89.2%
Otros	13356	6691	20047	10.8%	100.0%
Totales	112634	72930	185564	100.0%	

**Figura 1.14**

*Distribución de viviendas vulnerables por departamentos con frijajes y heladas (SINAGERD, 2014)*

En la figura 1.15 se muestra la distribución porcentual de las viviendas vulnerables ubicadas en zonas de friaje y heladas.



**Figura 1.15**

*Distribución porcentual de viviendas vulnerables en zonas de friajes y heladas (SINAGERD, 2014).*

### 1.3.2 Norma nacional de construcción

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones norma de vivienda A.020 en el Art. 18 del capítulo III referente a las características de las viviendas indica que de preferencia el aislamiento térmico de transmisión térmica K del cerramiento no será superior a 1.20 W/mt<sup>2</sup>C además en los art. 55-56 dice que los ambientes deberán contar con un grado de aislamiento térmico y acústico, del exterior, considerando la localización de la edificación, que le permita el uso óptimo, de acuerdo con la función que se desarrollara en él. Y que los requisitos para lograr un suficiente aislamiento térmico en zonas donde la temperatura descienda por debajo de los 12 grados Celsius, serán: de un lado que los paramentos exteriores deberán ejecutarse con materiales aislantes que permitan mantener el nivel de confort al interior de los ambientes, bien sea por medios mecánicos o naturales; y de otro que las puertas y ventanas deberán permitir un cierre hermético. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2006)

### 1.3.2 Sistemas constructivos

#### 1.3.2.1 Sistema tradicional

Constituido por estructura de paredes portantes (ladrillos, piedra, o bloques etc.); y concreto armado. Paredes de mampostería: ladrillos, bloques, piedra, o ladrillo portante, etc. revoques interiores, instalaciones de caños metálicos o plásticos y techo de tejas cerámicas, chapa, o losa plana. Es un sistema de obra húmeda.

#### 1.3.2.2 Sistema modular

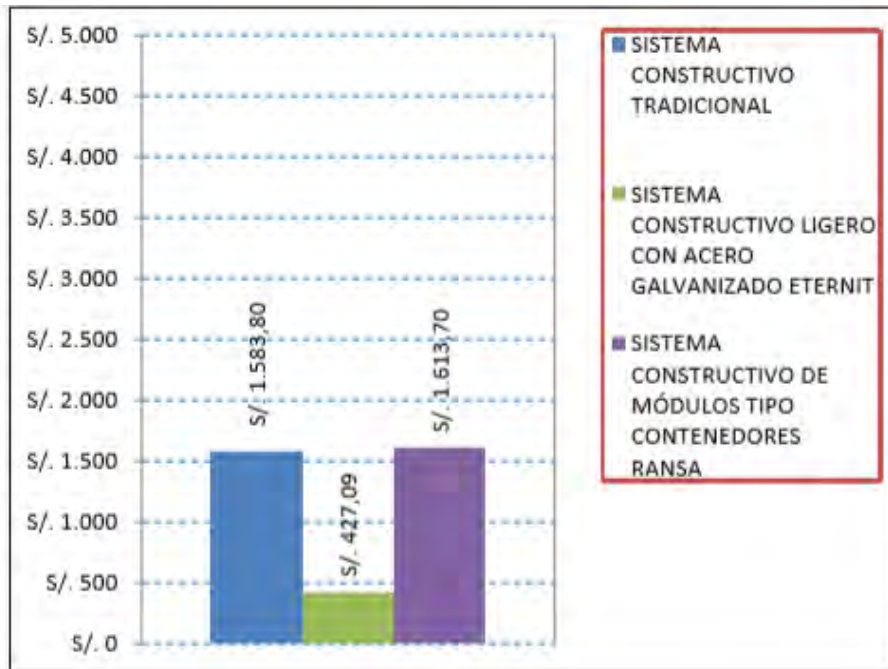
Para este tipo de vivienda la estructura se elabora en una fábrica, luego se transporta por módulos al terreno donde será montada. Es un sistema auto portante al que se le añaden los acabados necesarios. El ejemplo más común en la actualidad es el sistema modular con contenedores marítimos.

#### 1.3.2.3 Construcción en Seco (Drywall)

Estructura de entramado de madera o parantes y rieles metálicos. Paredes de paneles livianos de roca de yeso o madera en la cara interior y paneles de fibrocemento con revoque o salpicado o tablas de fibrocemento con textura de madera, en la cara exterior. Entre ambos una placa aislante térmica.

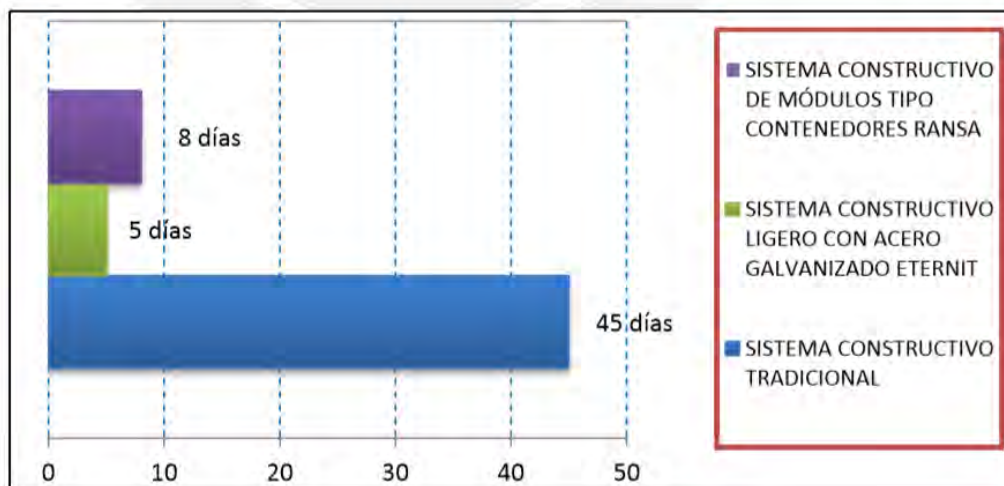
#### 1.3.2.4 Comparativa de sistemas de construcción aplicables

En la tesis titulada “Propuesta y evaluación de la aplicación del sistema de construcción industrializada modular” (Chang, 2014) entre sus objetivos se encuentra brindar un listado de los métodos constructivos actuales más usados por las empresas contratistas peruanas mostrando su factibilidad comercial, económica, plazo, ambiental y de seguridad. Además, hace una comparación de los aspectos de costos, comerciales y ambientales entre tres tipos de sistemas constructivos que son los que considera más representativos actualmente: Sistema tradicional, Sistema ligero con acero galvanizado (drywall) y el Sistema modular altamente industrializado de contenedores. Sus resultados lo llevan a concluir que en los aspectos de costos y tiempos el Sistema ligero con acero galvanizado es largamente la mejor opción. Un resumen se puede apreciar en las figuras 1.16 y 1.17 mostradas a continuación.



**Figura 1.16**

Cuadro comparativo de los costos totales presupuestados por m2 para tres sistemas constructivos aplicados en obras con áreas construidas similares. (Chang, 2014)



**Figura 1.17**

Cuadro comparativo de los tiempos para tres sistemas constructivos aplicados en obras con áreas construidas similares. (Chang, 2014)

De la tesis denominada “Análisis comparativo de tiempo y costo de la construcción de una vivienda tradicional versus una vivienda con el sistema drywall”

(Saavedra, 2016) como se puede inferir de su título su objetivo principal era analizar la diferencia de costo y tiempo de la construcción de una vivienda con el sistema tradicional versus el sistema Drywall. Sus resultados al igual que el estudio mencionado anteriormente, indicaron que en ambos aspectos se debía preferir la alternativa con drywall, aunque cabe destacar que sus resultados no fueron tan categóricos, hecho que se puede atribuir a que esta última investigación se realizó en otro país que, aunque cercano no cuenta con el mismo grado de madurez con el sistema drywall.

Otra referencia más enfocada a nuestro proyecto la encontramos en la tesis con el título “Análisis comparativo para establecer la diferencia de costo y tiempo de la construcción de paredes interiores en una edificación entre el sistema tradicional y el sistema drywall” (Pacheco, 2016) en la que su principal objetivo fue evaluar la construcción de las paredes mediante los dos sistemas, para luego determinar cuál es el más recomendable en función de los costos y el tiempo en una edificación. Sus conclusiones también catalogan como más económico y rápido el sistema drywall en comparación con el tradicional. Además, lo recomiendan por sus características antisísmicas y su proceso limpio como aporte positivo con el medio ambiente.

#### **1.4 El impacto ambiental**

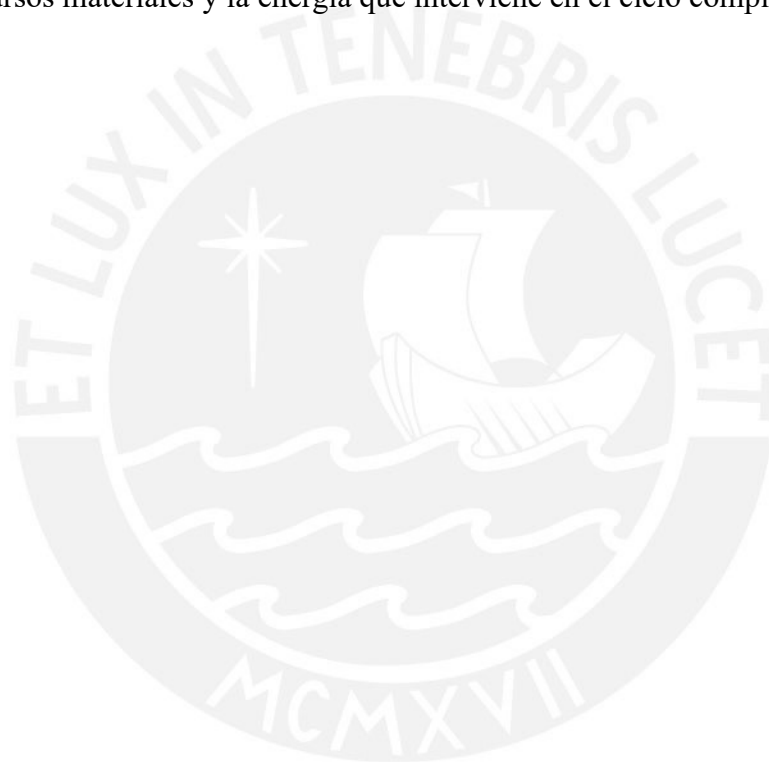
La locución “impacto ambiental” se encuentra con frecuencia en la prensa y en la vida cotidiana. La mayoría de las veces, el sentido común la asocia con algún daño a la naturaleza, como la mortandad de la fauna silvestre luego de un derrame de petróleo en el mar o en un río, cuando la opinión pública se asombra (o se ve “impactada”) ante las imágenes de aves totalmente negras debido a la capa de petróleo que las recubre. En ese caso, se trata indudablemente de un impacto ambiental derivado de una situación indeseada, que es el derrame de una materia prima. Aunque este sentido esté incluido en la noción de impacto ambiental, sólo da cuenta de una parte del concepto. En la literatura técnica, hay varias definiciones de impacto ambiental, casi todas ellas ampliamente concordantes en cuanto a sus elementos básicos, aunque estén formuladas de diferentes maneras. Algunos ejemplos son:

Cualquier alteración en el medio ambiente en uno o más de sus componentes, provocada por una acción humana (Moreira, 1992, p. 113.). El efecto de una acción inducida por el hombre sobre el ecosistema (Westman, 1985, p. 5.).

El cambio de un parámetro ambiental, en un determinado período y en una determinada zona, resultado de una determinada actividad, comparado con la situación que ocurriría si dicha actividad no se hubiera realizado (Wathern, 1988a, p. 7.).

#### **1.4.1 El análisis del ciclo de vida de los materiales**

El Análisis de ciclo de vida permite analizar y gestionar desde el punto de vista medioambiental, y de una manera objetiva y sistemática, los impactos ambientales asociados a un producto, proceso o actividad desde su fabricación hasta su desaparición como tal. Identifica, clasifica y cuantifica cada uno de los impactos a partir de los recursos materiales y la energía que interviene en el ciclo completo.



## **CAPÍTULO II- METODOLOGÍA**

La metodología desarrollada es propia de una investigación aplicada, experimental, cuantitativa y comparativa de laboratorio. La cual propone la solución de un problema con tecnología existente mediante la aplicación de pruebas de laboratorio a muestras y la obtención de resultados medibles y comparables. Para tal efecto se dispuso de las Instalaciones del Laboratorio de Energía (LABEN) de la Pontificia Universidad Católica del Perú

### **2.1 Planeación, normas y procedimiento de la metodología**

#### **2.1.1 Normas y guías de trabajo**

Para tal efecto se emplearán las siguientes Normas y guías de Trabajo

- Normas:

ASTM C518 – 17 Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus

ASTM C271/C271M – 16 Standard Test Method for Density of Sandwich Core Materials

ASTM D4442 – 16 Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood Based Materials

- Guías prácticas:

ASTM C1045 – 19 Standard Practice for Calculating Thermal Transmission Properties Under SteadyState Conditions.

ASTM E122 – 17 An American National Standard Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process.

ASTM D4933 – 16 Standard Guide for Moisture Conditioning of Wood and Wood-Based Materials.

#### **2.1.2 Procedimiento de ensayos**

Con el propósito de medir y comparar las variables del estudio se necesitó confeccionar especímenes o probetas que serán empleados en los ensayos de laboratorio, como parte de la planificación se hizo una lista que cataloga a estos especímenes (Ver tabla 2.1).

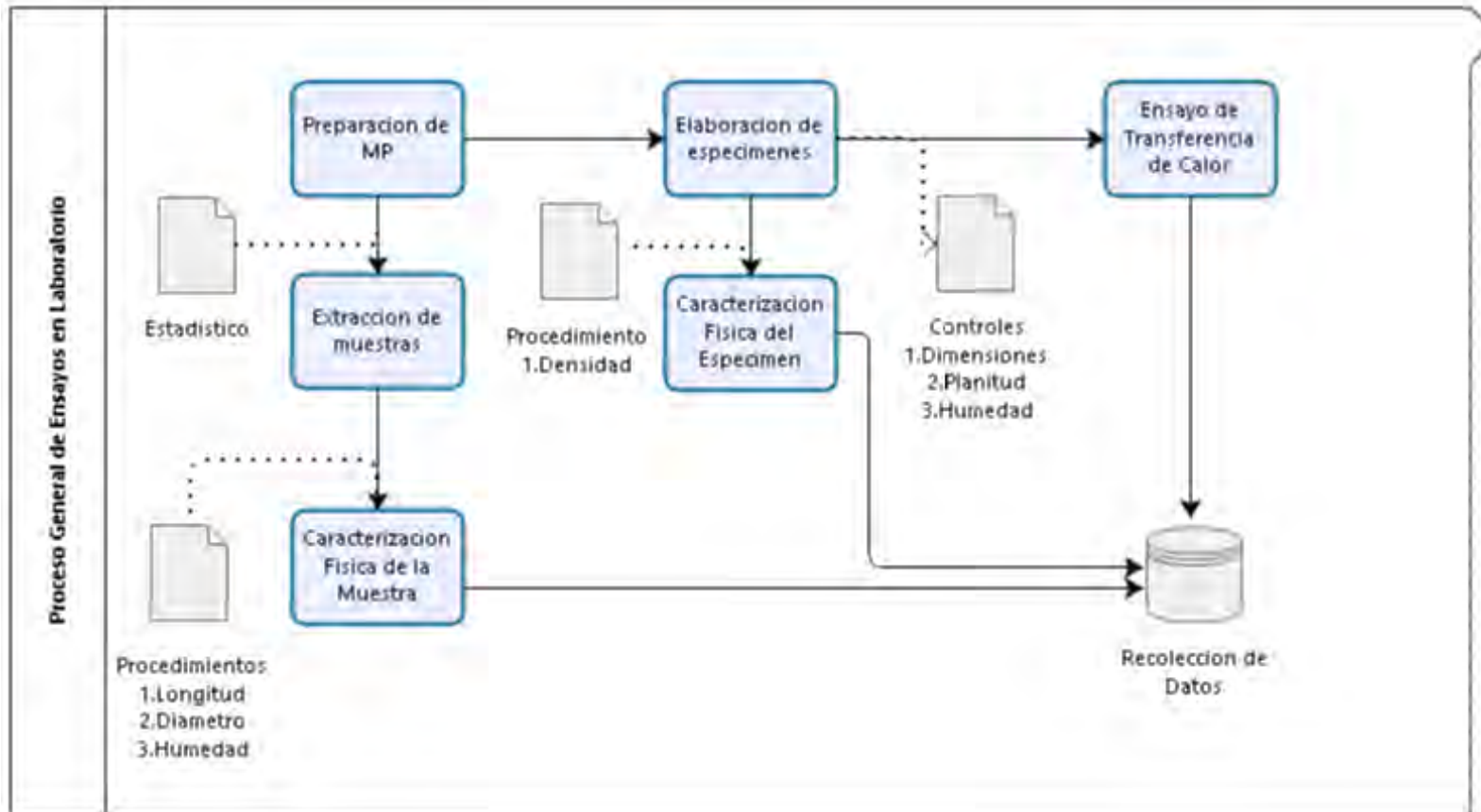


**Tabla 2.1**

*Lista de probetas para ensayos. Descripción y dimensiones. (Elaboración Propia)*

<b>Composición de Probeta</b>	<b>Área (m)</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Cant.</b>
FBC 8mm – Lana de vidrio –FBC 8mm	0.30 x 0.30	0.081	3
FBC 8mm – Ichu 20 cm –FBC 8mm	0.30 x 0.30	0.081	1
FBC 8mm –Ichu 10 cm –FBC 8mm	0.30 x 0.30	0.081	1
FBC 8mm – Ichu 5 cm –FBC 8mm	0.30 x 0.30	0.081	1
FBC 8mm – Ichu L < 5 cm –FBC 8mm	0.30 x 0.30	0.081	3
FBC 8mm – Aire –FBC 8mm	0.30 x 0.30	0.081	1
FBC 8mm – Aire –FBC 8mm	0.30 x 0.30	0.081	1

La ejecución de pruebas de laboratorio se llevó a cabo siguiendo un proceso planificado que se esquematiza en el flujograma general de ensayos de laboratorio (Ver figura 2.1) y cuyo desarrollado como procedimiento es expuesto líneas más abajo.



**Figura 2.1**

*Flujograma General de Ensayos en Laboratorio.*

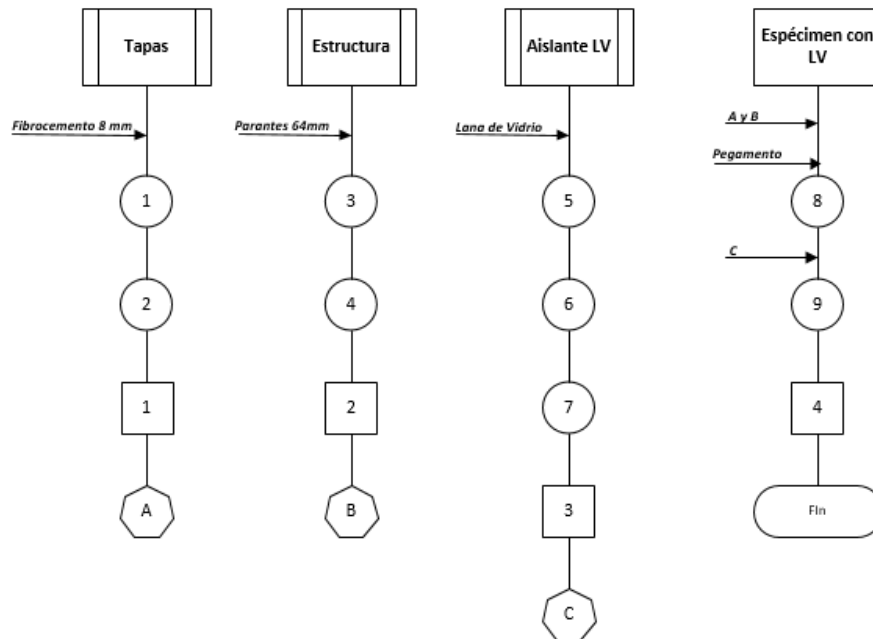
A continuación, se desarrolla el procedimiento correspondiente al flujograma del proceso general de ensayos de laboratorio.

El procedimiento inicia con la preparación de la materia prima que consiste en su limpieza, corte y almacenamiento del ichu seco, luego se extraen muestras del ichu cortado para su caracterización física (longitud, diámetro, humedad). También se preparan el resto de componentes que conformaran los especímenes de ensayo como parantes, rieles de estructura y placas de fibrocemento para las tapas.

Seguidamente para elaborar los especímenes o probetas primero se ensamblan los cortes de fibrocemento de 0.3m x 0.3m y los rieles de sistema constructivo drywall de 65 mm de ancho. Luego se rellena con el material aislante de acuerdo a la longitud de fibra y densidad que se desean ensayar. Posteriormente se cierra el espécimen con otra tapa de 0.3m x 0.3m. Se detalla cada uno de los tipos de probeta mediante su respectivo diagrama de operaciones mostrado en las figuras 2.2 a la 2.7.

Paralelamente a la elaboración de las probetas se toman los datos necesarios para el cálculo de la densidad de aislante como parte de la caracterización física. Terminada la probeta se hace un control final antes de los ensayos que incluye corroborar dimensiones, planitud y nivel de humedad en las capas exteriores. El procedimiento culmina con la ejecución de la prueba y la emisión del reporte de datos por parte del personal de laboratorio.

### Diagrama de Operaciones de un espécimen con relleno de Lana de Vidrio



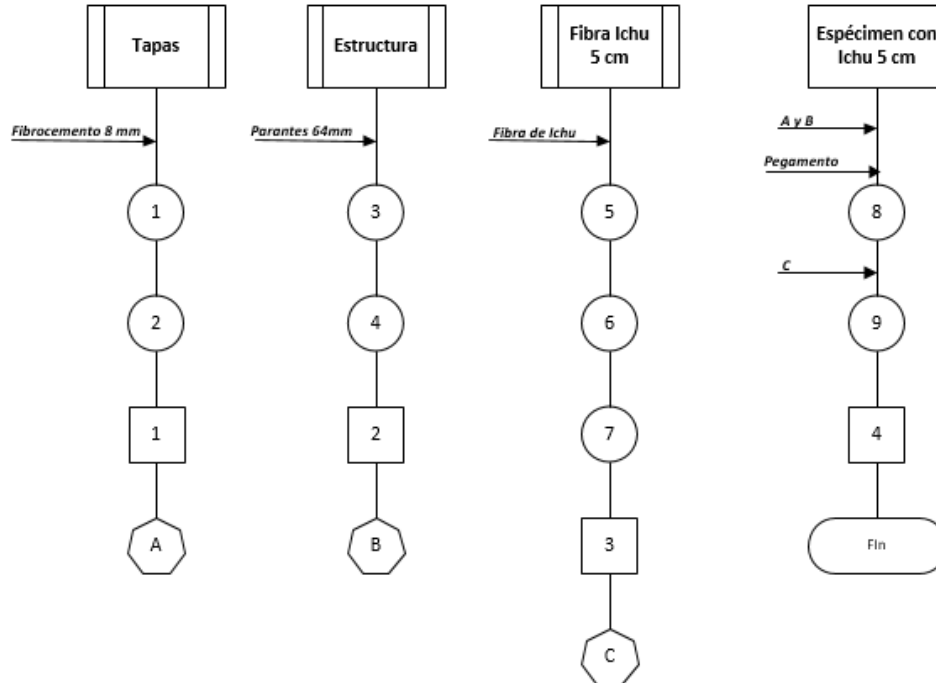
#### Detalle de Operaciones

1 Operación Dimensionar
2 Operación Cortar
3 Operación Dimensionar
4 Operación Cortar
5 Operación Extraer muestra caracterización
6 Operación Cortar
7 Operación Pesar
8 Operación Ensamblar A y B
9 Operación Rellenar con Lana de Vidrio
1 Inspección Verificar
2 Inspección Verificar
3 Inspección Verificar
4 Inspección Verificar
A Subproducto Tapas
B Subproducto Estructura
C Subproducto Aislante

**Figura 2.2**

*Diagrama de operaciones espécimen con lana de vidrio*

### Diagrama de Operaciones de un espécimen con relleno de Ichu 5 cm



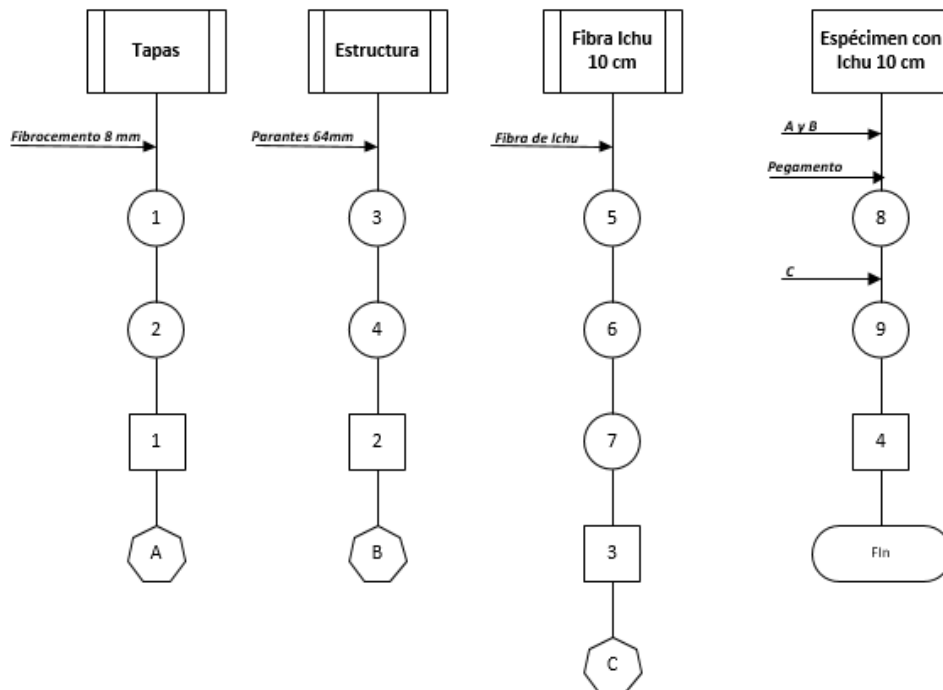
#### Detalle de Operaciones

1 Operación Dimensionar
2 Operación Cortar
3 Operación Dimensionar
4 Operación Cortar
5 Operación Extraer muestra caracterización
6 Operación Cortar fibra a 5 cm de longitud
7 Operación Pesar
8 Operación Ensamblar A y B
9 Operación Rellenar con Ichu de 5 cm
1 Inspección Verificar
2 Inspección Verificar
3 Inspección Verificar
4 Inspección Verificar
A Subproducto Tapas
B Subproducto Estructura
C Subproducto Fibra Ichu de 5 cm Long.

**Figura 2.3**

*Diagrama de operaciones espécimen con Ichu 5cm.*

### Diagrama de Operaciones de un espécimen con relleno de Ichu 10 cm



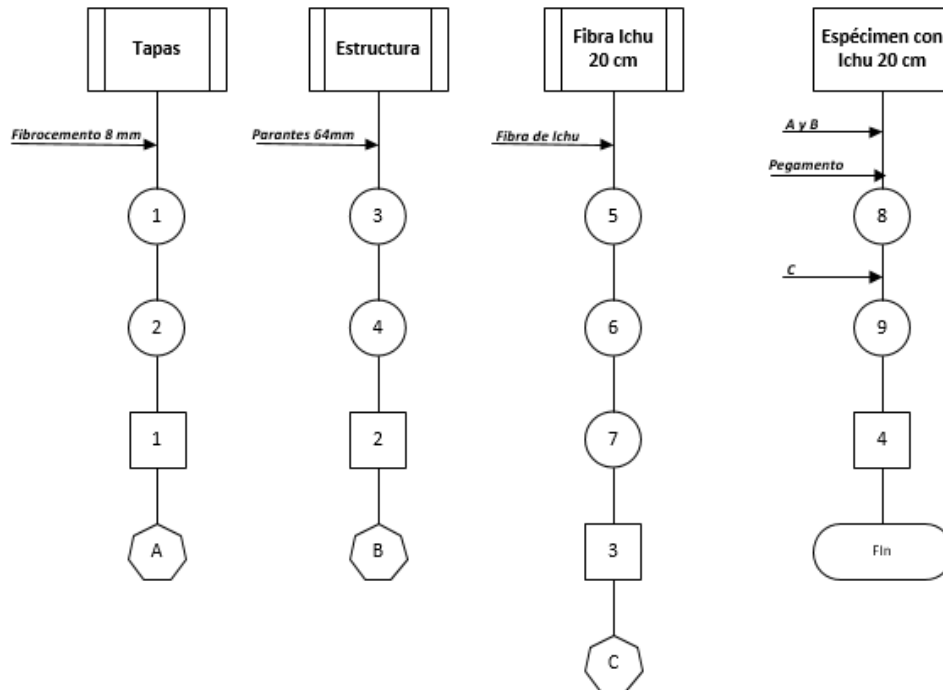
#### Detalle de Operaciones

1 Operación Dimensionar
2 Operación Cortar
3 Operación Dimensionar
4 Operación Cortar
5 Operación Extraer muestra caracterización
6 Operación Cortar fibra a 10 cm de longitud
7 Operación Pesar
8 Operación Ensamblar A y B
9 Operación Rellenar con Ichu de 10 cm
1 Inspección Verificar
2 Inspección Verificar
3 Inspección Verificar
4 Inspección Verificar
A Subproducto Tapas
B Subproducto Estructura
C Subproducto Fibra Ichu de 10 cm Long.

**Figura 2.4**

*Diagrama de operaciones espécimen con Ichu 10cm.*

### Diagrama de Operaciones de un espécimen con relleno de Ichu 20 cm



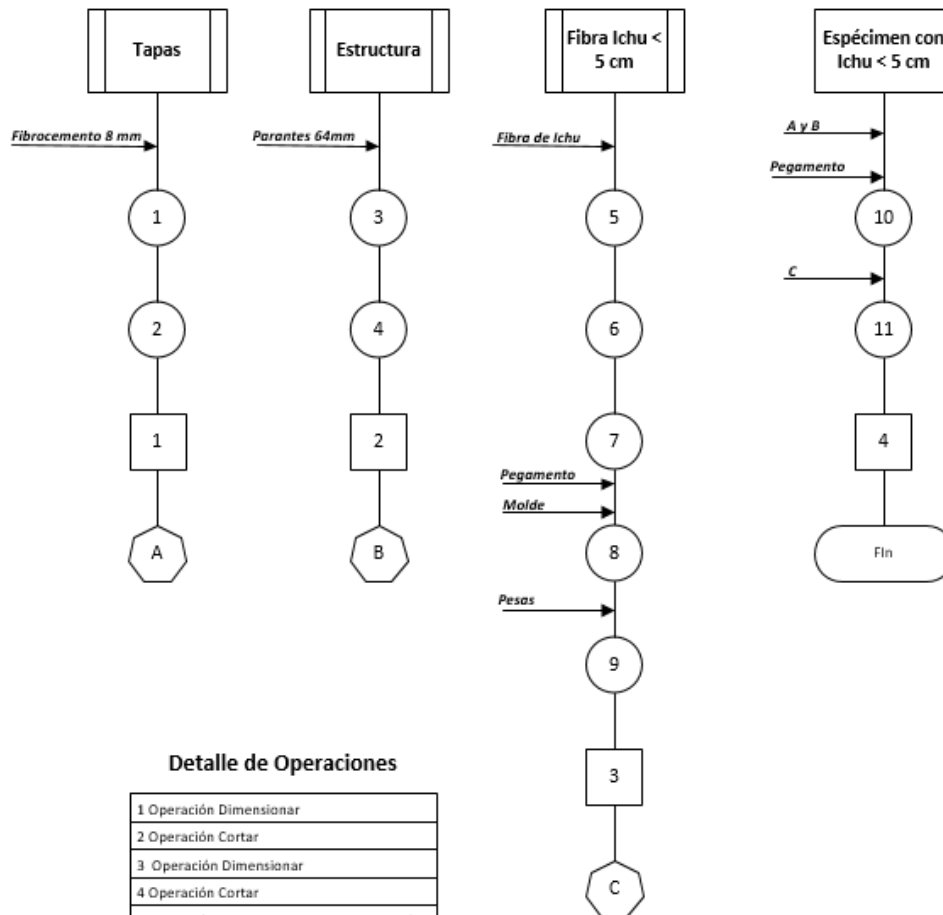
#### Detalle de Operaciones

1 Operación Dimensionar
2 Operación Cortar
3 Operación Dimensionar
4 Operación Cortar
5 Operación Extraer muestra caracterización
6 Operación Cortar fibra a 10 cm de longitud
7 Operación Pesar
8 Operación Ensamblar A y B
9 Operación Rellenar con Ichu de 10 cm
1 Inspección Verificar
2 Inspección Verificar
3 Inspección Verificar
4 Inspección Verificar
A Subproducto Tapas
B Subproducto Estructura
C Subproducto Fibra Ichu de 10 cm Long.

**Figura 2.5**

*Diagrama de operaciones espécimen con Ichu 20cm.*

### Diagrama de Operaciones de un espécimen con relleno de Ichu < 5cm

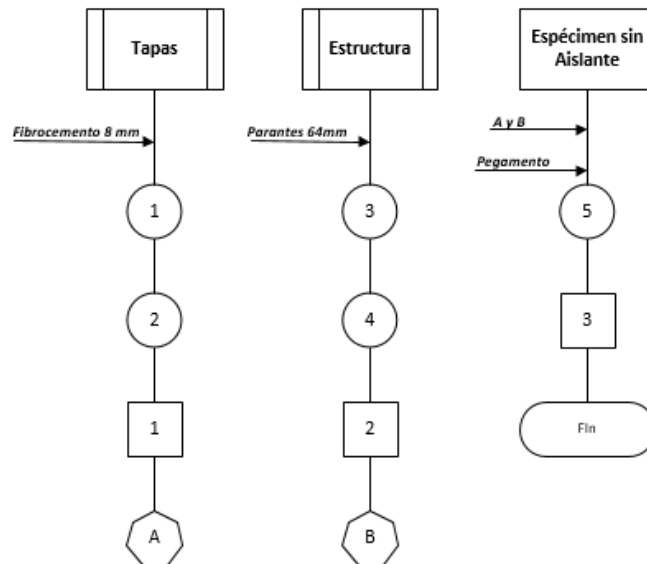


**Figura 2.6**

*Diagrama de operaciones espécimen conglomerado con Ichu < 5cm.*



### Diagrama de Operaciones de un espécimen con relleno de Aire



#### Detalle de Operaciones

1 Operación Dimensionar
2 Operación Cortar
3 Operación Dimensionar
4 Operación Cortar
5 Operación Ensamblar A y B
1 Inspección Verificar
2 Inspección Verificar
3 Inspección Verificar
A Subproducto Tapas
B Subproducto Estructura

**Figura 2.7**

*Diagrama de operaciones espécimen sin aislante.*

### 2.1.3 Procedimiento de control y monitoreo de la incertidumbre

En el presente trabajo experimental, la variable principal que fue evaluada y comparada es la conductividad térmica expresada en W/m. K, la exactitud y validez de sus resultados obtenidos debían regirse por un plan de control y monitoreo de la incertidumbre.

Teniéndose en cuenta el rol de los materiales, por un lado, la lana de vidrio con elemento de comparación, de otro lado, la fibra de Ichu como material propuesto se clasificaron los ensayos de la siguiente forma:

Ensayos Referenciales: El número de veces a aplicarse en este tipo fue 1, su información sirvió para guiar la magnitud de uso de las variables secundarias y así determinar las características de los ensayos significativos. Por realizarse una sola prueba no se mide su incertidumbre.

Ensayos Significativos: El número de repeticiones en este tipo es 2, se efectuó en las probetas que contenían lana de vidrio y también en las que contenían conglomerado de la fibra de ichu con menor longitud de fibra y mayor densidad. Los resultados de estos ensayos fueron sometidos a análisis para determinar su incertidumbre.

La incertidumbre de la medición es la suma pitagórica de los errores aleatorios y sistemáticos

$$\Delta z = \sqrt{\varepsilon_{si}^2 + \varepsilon_{al}^2} \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Error aleatorio es el relacionado con la precisión de la medición, y se determinan estadísticamente tomando en cuenta los grados de dispersión de datos respecto a la media aritmética. Su reducción solo tiene sentido hasta equiparar los valores del error sistemático. Para los cálculos se utilizó las siguientes expresiones:

$$I_A = \frac{\delta_s}{\sqrt{n}} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$I_A$  = Incertidumbre Aleatoria

$\delta_s$  = Desviación estandar de una muestra

$n$  = Numero de mediciones

$$\delta_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

$\delta_s$  = Desviación estandar de una muestra

$\bar{x}$  = Media de muestras

n = número de mediciones

Error sistemático es el que está relacionado con la exactitud e incluye entre otros la mala calibración, sensibilidad, operativos, ambientales, tolerancias geométricas. Para el caso el nivel de exactitud reportado por el laboratorio es de 5% considerando el diseño del aparato y su información técnica.

### 2.1.4 Equipos, instrumentos, materiales e insumos planificados

#### 2.1.4.1 Instrumentos y Equipos

**Tabla 2.2**

*Instrumentos y Equipos de Ensayos en Laboratorio (Elaboración propia).*

Nombre
Equipo de medición de flujo de calor
Balanza de humedad
Microscopio
Calibre de Vernier
Medidor de Humedad
Calibre de Vernier

#### 2.1.4.2 Materiales e Insumos

**Tabla 2.3**

*Materiales e insumos de Ensayos en Laboratorio (Elaboración propia).*

Nombre
Fibra de ichu

Nombre
Lana de vidrio
Placa de fibrocemento
Parantes drywall
Rieles drywall
Listones de madera
Adhesivo en aerosol

## 2.2 Aplicación y ejecución de la metodología

### 2.2.1 Preparación de materias primas

Acondicionamiento de materiales: En este segmento se incluyeron a los componentes principales de los especímenes, la fibra de Ichu y las placas de fibrocemento.

#### 2.2.1.1 Fibra de Ichu

El Ichu crece en zonas alto andinas a partir de los 3800 msnm altura correspondiente a la región Puna, varias comunidades y personas particulares recolectan diversas cantidades de este pasto en condición semi seca para usarlo generalmente en los techos de las viviendas tradicionales de la zona. El secado se hace artesanalmente al sol y luego se almacena hasta que sea necesario o demandado para la venta.

El Ichu empleado en este estudio es oriundo del Cajamarca de la Granja Porcon que se encuentra a una altura de 3500 msnm a 40 km noroeste de la ciudad de Cajamarca. Los cortes de 40 a 60cm de longitud fueron embalados y traídos a Lima. La ficha técnica de la fibra de Ichu se presenta en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4**

*Ficha técnica Stipa Ichu (elaboración propia)*

<b>Nombre Común</b>	Ichu
<b>Nombre Científico</b>	Stipa Ichu

<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Genero</b>	Stipa
<b>Regiones naturales</b>	Alto andinas (3700-4800 msnm)
<b>Longitud de Tallo</b>	60-180 cm
<b>Diámetro de fibra seca</b>	0.39-0.83 mm
<b>Conductividad Térmica</b>	0.07 W/m.K (ASTM C177)
<b>Humedad en fibra seca</b>	< 15%



**Figura 2.8**

*Preparación de Ichu.*

El desembalaje y la limpieza se realizó en espacio abierto extendiéndose los atados de Ichu seco, se rastrillaron a lo largo de los tallos para desprender la suciedad, semillas e insectos. Luego se zarandeó manualmente varias veces para eliminar el polvo, la actividad se realizó con protección mínima es decir guantes, mascarillas anti polvo y lentes. También fueron necesarias herramientas como el rastrillo y tijeras de poda. (Ver figura 2.9)



**Figura 2.9**

*Herramientas básicas para preparación de Ichu.*

Los cortes se efectuaron con tijeras de jardinero en largos de fibra de 20cm, 10cm y 5 cm que servirán para los especímenes dispuestos entrecruzados sin pegamento y otro grupo se cortó a una longitud variable siempre menor a 6cm. para los especímenes con conglomerados encolados. Después se almacenaron embolsándose y pesando los conjuntos de fibra clasificados por longitud de corte.



**Figura 2.10**

*Cortes de Ichu.*

#### 2.2.1.2 Planchas de fibrocemento

Dimensionado: Las planchas de fibrocemento se comercializan en el formato comercial de 1.22 x 2.44m. De cada plancha se obtuvieron cortando cuadrados de 0.30 x 0.30 m un total de 32 unidades que en parejas conformaran las paredes de 16 sándwiches

para las probetas. En la figura 2.11 se muestra la ficha técnica con las propiedades físicas y mecánicas de la placa de fibrocemento.

Propiedades físicas y mecánicas			
Propiedad	Valor*	Unidad	Ensayo
Absorción	32.0	%	ASTM C 11 85
Densidad (seca al horno)	1.25	kg/cm <sup>3</sup>	NTC 4373
Contenido de humedad	10.0	%	NTC 4373
Movimientos hídricos			
Estramiento seco al aire saturado	0.55	mm/m	Redco Procedure
Encogimiento de saturado a seco al horno	2.39		
Movimientos térmicos			
Encogimiento de 105°C a 25°C	8.5x10 <sup>-3</sup>	m/m°C	Redco Procedure
Módulo de elasticidad (E)			
Seco longitudinal	7,002		
Seco transversal	6,799	MPa	ASTM D1037
Saturado longitudinal	5,789		
Saturado transversal	4,738		
Resistencia a la flexión (MOR)			
Seco al ambiente longitudinal	15.0		
Seco al ambiente transversal	9.0	MPa	NTC 4373
Saturado longitudinal	10.5		
Saturado transversal	6.5		
Conductividad térmica	0.26	W/mK	ASTM C618
Resistencia a la tracción del clavo			
En húmedo	32.0	kg	ASTM D1037
En seco	84.7		
Resistencia al impacto (Charpy)			
Seco al horno	1.56	KJ/m2	ASTM D256
Saturado	2.86		
Resistencia al fuego			
Índice de expansión de la llama	0.0		ASTM E84
Índice de propagación de humo	0.0		

\* Valores promedio  
Mpa: Mega Pascales; W: Watts; KJ: Kilojulios; °K: Grados Kelvin

**Figura 2.11**

*Propiedades físicas y mecánicas de la placa de fibrocemento (catálogo Volcán).*

### 2.2.2 Extracción de muestras de materia prima (fibra de ichu)

Antes de elaborar los especímenes se extrajeron muestras que servirían para la caracterización del relleno de la probeta. El tamaño de la muestra de cada espécimen debía ser de entre 5 y 10 gramos, cantidades que permitieran realizar los ensayos de caracterización correspondientes. Las muestras codificadas y con su peso respectivo se colocaron en bolsas plásticas con cierres. para los análisis posteriores de caracterización.



**Figura 2.12**

*Extracción de muestras de Ichu por espécimen*

### 2.2.3 Caracterización física de las muestras

De acuerdo a lo planificado se midieron tres variables para la caracterización de las muestras de relleno de los especímenes

#### 2.2.3.1. Medición de Longitud de fibra

Se midió la longitud de 36 haces de fibra obtenidos después del proceso de corte y antes del mezclado para el relleno de los especímenes de sándwich fibrocemento - Ichu, empleando un Vernier.

De la fórmula para el cálculo del tamaño de muestra para una variable cuantitativa y una población desconocida

$$n = \left( \frac{Z \cdot S}{E} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 2.1})$$

**Tabla 2.5**

*Datos para tamaño de muestra.*

NC	0.950
F(z)	0.975
Z	1.960
S	0.153
E	0.050
n	35.97

A los datos se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnof (Pedrosa et al., 2015) para verificar la distribución de la variable ver figura 2.13. Para todos los casos se obtuvieron valores dentro de la normalidad de variación ver tabla 2.6.



### Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

		Long
N		36
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	4,9425
	Desv. Desviación	,50052
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,085
	Positivo	,085
	Negativo	-,073
Estadístico de prueba		,085
Sig. asintótica(bilateral)		,200 <sup>c,d</sup>

- a. La distribución de prueba es normal.  
 b. Se calcula a partir de datos.  
 c. Corrección de significación de Lilliefors.  
 d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

### Figura 2.13

*Pantalla ejemplo SPSS KS para longitudes*

### Tabla 2.6

*Tabla caracterización de muestra "longitud de fibra" (Elaboración Propia)*

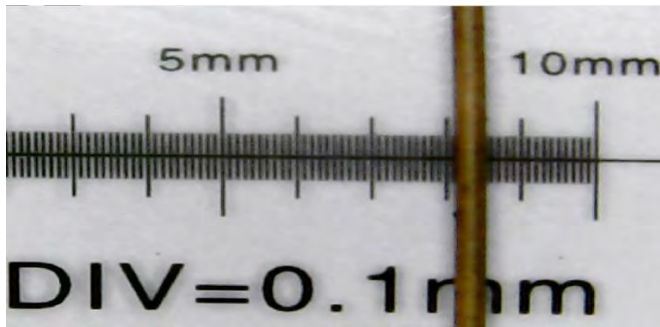
Caso	Ichu 5	Ichu 10	Ichu 20	Ichu<5	Ichu<52	Ichu<53
1	5.26	9.67	18.85	1.87	1.25	4.81
2	5.30	9.89	20.58	1.53	4.19	5.57
3	4.41	10.16	21.28	5.07	4.25	2.40
4	5.10	10.79	18.74	3.58	5.01	4.07
5	5.18	10.42	19.21	3.90	3.98	3.97
6	4.93	10.85	20.58	5.33	6.39	6.13
7	5.22	10.64	21.47	2.11	4.41	3.66
8	6.09	9.24	21.42	4.92	4.06	4.89
9	5.33	9.15	20.12	4.52	2.54	5.93
10	4.06	9.36	20.91	5.59	1.97	5.78
11	4.19	9.64	20.27	2.73	4.77	6.44
12	4.61	9.44	20.20	4.07	3.30	1.78
13	5.34	9.56	18.97	5.31	5.51	1.85
14	5.97	9.77	21.17	3.85	5.13	3.70
15	4.25	9.83	19.10	2.14	2.47	4.41
16	5.30	9.89	20.72	1.43	1.57	4.40
17	5.11	9.02	20.66	2.04	4.28	4.89

<b>Caso</b>	<b>Ichu 5</b>	<b>Ichu 10</b>	<b>Ichu 20</b>	<b>Ichu&lt;5</b>	<b>Ichu&lt;52</b>	<b>Ichu&lt;53</b>
<b>18</b>	5.07	10.57	20.11	3.82	2.36	6.38
<b>19</b>	4.12	10.51	19.29	1.71	1.87	4.50
<b>20</b>	5.15	9.79	18.58	1.37	4.64	4.48
<b>21</b>	4.80	10.68	18.91	4.36	2.72	4.93
<b>22</b>	5.46	10.69	20.43	3.62	4.48	2.88
<b>23</b>	4.78	10.08	20.35	5.38	3.24	4.35
<b>24</b>	4.96	10.45	21.09	1.31	4.23	3.46
<b>25</b>	4.30	9.11	19.37	4.15	4.43	6.33
<b>26</b>	4.17	9.23	19.01	2.23	3.48	1.22
<b>27</b>	5.37	9.21	19.13	5.10	3.14	5.53
<b>28</b>	4.69	10.09	19.13	3.33	1.47	3.79
<b>29</b>	4.57	10.16	20.48	5.35	5.12	5.96
<b>30</b>	4.97	9.32	21.17	3.58	4.17	5.26
<b>31</b>	4.80	9.31	19.27	3.63	4.40	3.58
<b>32</b>	4.41	9.34	20.73	2.83	4.40	5.30
<b>33</b>	4.74	10.78	18.69	3.37	5.89	3.83
<b>34</b>	5.55	10.25	18.88	6.28	5.10	4.33
<b>35</b>	5.03	10.07	19.72	3.23	1.44	5.15
<b>36</b>	5.34	10.39	20.80	5.20	4.29	5.34
<b>Media</b>	4.94	9.93	19.98	3.61	3.78	4.48
<b>DS</b>	0.50	0.57	0.92	1.42	1.34	1.32
<b>KS muestral</b>	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

### 2.2.3.2 Medición de diámetro de fibra

Se midió el diámetro de 36 haces de fibra obtenidos después del proceso de corte y antes del mezclado para el relleno de los especímenes de sándwich fibrocemento - Ichu, empleando un microscopio digital USB modelo XA24. Durante la medición de los haces de fibra se empleó aumento 60X.

Se utilizaron los mismos estadísticos que en el procedimiento de medición de longitud de fibra y los valores se ubicaron dentro de los límites de normalidad ver tabla 2.7.



**Figura 2.14**

*Observación en microscopio.*

**Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra**

		long
N		36
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,6339
	Desv. Desviación	,25312
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,123
	Positivo	,123
	Negativo	-,093
Estadístico de prueba		,123
Sig. asintótica(bilateral)		,186 <sup>c</sup>

a. La distribución de prueba es normal.  
 b. Se calcula a partir de datos.  
 c. Corrección de significación de Lilliefors.

**Figura 2.15**

*Pantalla ejemplo SPSS KS para diámetros (Elaboración propia)*



### 2.2.3.3 Medición de humedad en fibra

Basados en la norma ASTM D4442 – 16 Método B y la guía práctica ASTM D4933 – 16 se diseñó un procedimiento para el cálculo de la humedad en las muestras de ichu en cada espécimen a ensayar en la máquina de transferencia de calor.

La fórmula para la obtención de la humedad es la siguiente:

$$\%H = \frac{A-B}{B} * 100 \quad (\text{Ecuación 2.2})$$

Donde:

A = Masa Original en gramos

B = masa después de secado en gramos

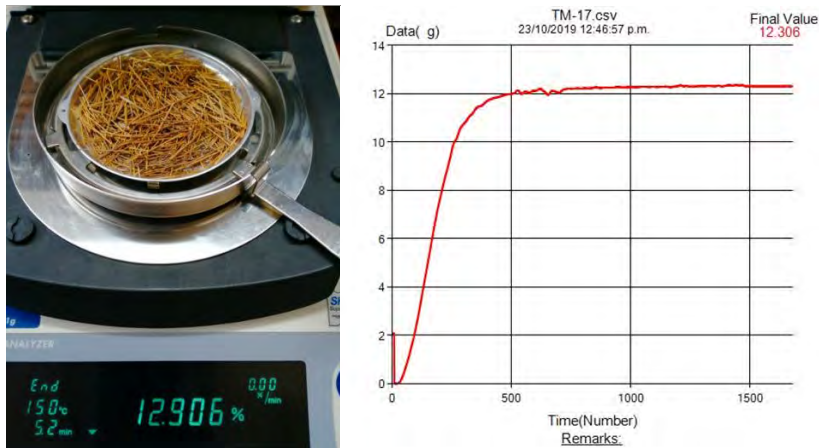
Con la ayuda de una balanza de humedad se automatizo el procedimiento, siguiendo el procedimiento de la guía de uso correspondiente.

Para instalar balanza de humedad se selecciona una ubicación en el laboratorio, luego se nivela ajustando sus patas y verificando con el nivel de burbuja su alineamiento con la superficie de soporte.

Se utilizaron muestras con peso no menor a los 2g y se coloca en la bandeja metálica distribuyéndola uniformemente.

En la balanza de humedad se gradúa la precisión de medición en 0.00 %/min y la escala mínima en 0.001%, la temperatura de secado y el valor de terminación en el modo de análisis se seleccionan automáticamente por la precisión y el valor mínimo de escala indicado en porcentaje. Ver figura 2.16.

Se programa en el software la captación de datos en intervalos de un segundo y serán almacenados en hojas de cálculo y graficas de curva. Todos los valores obtenidos se encuentran por debajo del 15% de humedad lo que representa un indicador adecuado de nivel de secado.



**Figura 2.16**

*Caracterización de muestra “Humedad de Ichu”*

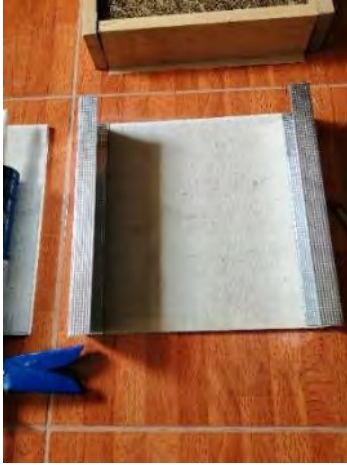
### 2.2.4 Preparación de especímenes

La preparación de los especímenes o elaboración de muestras se ejecutó de acuerdo a los Diagramas de operaciones esbozados en la planificación. Se muestra una secuencia de la elaboración en las figuras 2.17 a la figura 2.29.



**Figura 2.17**

*Corte de tapas 0.30m x 0.30m fibrocemento 8mm.*



**Figura 2.18**

*Corte de tapas 0.30m x 0.30m fibrocemento 8mm*



**Figura 2.19**

*Colocación de aislante lana de vidrio en espécimen.*



**Figura 2.20**

*Pesaje de aislante de ichu preparado.*



**Figura 2.21**

*Molde para conglomerado de Ichu.*



**Figura 2.22**

*Preparación de conglomerado de Ichu por capas.*



**Figura 2.23**

*Preparación de conglomerado de Ichu "prensado".*





**Figura 2.24**

*Preparación de conglomerado de Ichu “secado”.*



**Figura 2.25**

*Preparación de conglomerado de Ichu “Check Humedad”.*



**Figura 2.26**

*Conglomerado de Ichu Terminado 1.*



**Figura 2.27**

*Conglomerado de Ichu Terminado 2.*



**Figura 2.28**

*Colocación de aislante conglomerado de Ichu.*



**Figura 2.29**

*Espécimen con conglomerado de Ichu terminado.*

## 2.2.5 Caracterización física de especímenes

### 2.2.5.1 Medición de la densidad

Basados en la norma ASTM C271/C271M – 16 y la guía práctica ASTM E122 – 17 se elaboró un procedimiento para la medición de densidad de los especímenes.

La fórmula para la obtención de la densidad es la siguiente:

$$d = 1000000 * \frac{M}{l * a * e} \quad (\text{Ecuación 2.3})$$

d = densidad, Kg/m<sup>3</sup>.

M = Masa, g.

l = longitud, mm.

a = ancho, mm.

e = espesor, mm.

Para el procedimiento no se especifica entorno de acondicionamiento, pero se mide la temperatura ambiente como dato referencial.

El contenido de la humedad se considera desconocido, aunque se recomienda testear con un medidor de humedad de pines el espécimen como dato referencial.

El instrumento de medición de longitud debe tener una precisión de +/- 0.025 mm.

La balanza con la que se mide la masa del espécimen debe tener una precisión de +/- 0.5%

Para esta caracterización las probetas se establecieron dos grupos el primero con especímenes que contenían fibra de ichu y otro grupo con los que tienen como elemento aislante a la lana de vidrio los valores obtenidos figuran en las tablas 2.8 y 2.9 respectivamente.

**Tabla 2.8**

*Tabla caracterización de espécimen de Ichu "Densidad".*

Espécimen	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)	Densidad
Ichu 5	0.302	0.298	0.065	0.00585	0.1632	27.899
Ichu 10	0.299	0.301	0.065	0.00585	0.1484	25.368

Espécimen	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)	Densidad
<b>Ichu 20</b>	0.303	0.297	0.065	0.00585	0.1299	22.207
<b>Ichu&lt;5</b>	0.300	0.300	0.065	0.00585	0.2078	35.521
<b>Ichu&lt;5</b>	0.300	0.300	0.065	0.00585	0.2108	36.034
<b>Ichu&lt;5</b>	0.300	0.300	0.065	0.00585	0.2103	35.954

**Tabla 2.9**

*Tabla caracterización de espécimen de Lana de vidrio “Densidad”.*

Espécimen	Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)	Densidad
<b>LV</b>	0.302	0.298	0.065	0.00585	0.0521	8.906
<b>LV</b>	0.296	0.296	0.065	0.00570	0.0491	8.622
<b>LV</b>	0.301	0.296	0.065	0.00579	0.0509	8.789

### 2.2.6 Controles previos al ensayo de conductividad térmica

Se practican 3 controles de calidad de la muestra:

#### 2.2.6.1 Dimensiones

Por especificaciones técnicas del equipo de ensayo las dimensiones de la probeta no deben exceder las medidas de 0.3m para largo y ancho; ni la altura de 0.1m. En el caso específico de las muestras ensayadas sus medidas fueron de 0.3m x 0.3m x 0.081m y se verificaron con un vernier.

#### 2.2.6.2 Planitud

La condición de superficie plana es otro requerimiento técnico del equipo de ensayo, para su verificación se utilizó una regla metálica de 30cm.

#### 2.2.6.3 Humedad

Mediante un aparato medidor de humedad con pines de 8 mm se aseguran los niveles de humedad en las caras externas de los especímenes y en el relleno de fibra de ichu. Los valores permitidos son de 0.75 para la escala de humedad en materiales de construcción y de hasta el 15% de humedad en materiales como haces de madera para el

relleno de ichu. De este modo se homogeniza la condición de humedad al ingreso de las pruebas, paralelamente el equipo indica la temperatura a la que se toma el control.

### 2.2.7 Ensayos y reportes

Para los ensayos se utilizó el equipo de medición de flujo de calor HFM 446

**Tabla 2.10**

*Ficha técnica de aparato de medición de conductividad térmica.*

<b>Marca</b>	<b>Netzsch / Modelo: HFM 436 Lambda</b>
Patrón de calibración	Bloque de calibración de resina de fibra de vidrio
Certificado	NIST SRM 1450D
Rango de conductividad térmica	0,002 ~ 2,0 W/m-K
Exactitud	±5%

El equipo HFM436 Lambda opera cumpliendo lo indicado en las normas ASTM\_C 518, ISO 8301, JIS\_A1412 y DIN EN 12667. Se configuró el equipo en el rango de la temperatura media comprendida entre los 15 y 45 grados centígrados y los diferenciales de temperatura alternaron los valores de 5,10 o 15 grados centígrados dependiendo de los datos de la probeta, luego se dio inicio a los ensayos.

En la tabla 2.11 se observa que la cantidad de ensayos fue de 25 con un número igual de reportes generados por el laboratorio lo que produjo a su vez un total de 192 datos.

**Tabla 2.11**

*Tabla ensayos y reportes ejecutados. (Elaboración Propia)*

<b>MATERIAL</b>	<b>ESPECIM</b>	<b>ENSAYO</b>	<b>DATO</b>	<b>REPORTE</b>
AIRE	1	2	15	2
ESTRUC.MAD.	1	2	15	2
ICHU 5/10/20	3	6	45	6
LANA DE V	3	6	45	6

MATERIAL	ESPECIM	ENSAYO	DATO	REPORTE
ICHU<5	3	6	45	6
TAPAS	3	3	27	3
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>25</b>	<b>192</b>	<b>25</b>

### 2.3 Recolección de datos

En este apartado punto se presentan los datos obtenidos en los diferentes procedimientos aplicados

#### 2.3.1 Conductividad térmica con lana de vidrio

**Tabla 2.12**

*Tabla conductividad térmica por ensayo – lana de vidrio LV.*

Composición	Especimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$
LV	TM01-R	15	5	0.062774
LV	TM01-R	15	10	0.065150
LV	TM01-R	15	15	0.067389
LV	TM01-R	20	5	0.060318
LV	TM01-R	20	10	0.064636
LV	TM01-R	20	15	0.069244
LV	TM01-R	25	5	0.086428
LV	TM01-R	25	10	0.083287
LV	TM01-R	25	15	0.085757
LV	TM01-R	35	5	0.082061
LV	TM01-R	35	10	0.089388
LV	TM01-R	35	15	0.098201
LV	TM01-R	45	5	0.082573
LV	TM01-R	45	10	0.095855
LV	TM01-R	45	15	0.110670
LV	TM05	15	5	0.078840
LV	TM05	15	10	0.080099
LV	TM05	15	15	0.082023
LV	TM05	20	5	0.074944
LV	TM05	20	10	0.083713
LV	TM05	20	15	0.083436
LV	TM05	25	5	0.103455
LV	TM05	25	10	0.100989
LV	TM05	25	15	0.101671

Composición	Espécimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$
LV	TM05	35	5	0.098969
LV	TM05	35	10	0.108081
LV	TM05	35	15	0.112499
LV	TM05	45	5	0.099420
LV	TM05	45	10	0.108941
LV	TM05	45	15	0.108370
LV	TM18	15	5	0.068433
LV	TM18	15	10	0.068610
LV	TM18	15	15	0.070294
LV	TM18	20	5	0.062775
LV	TM18	20	10	0.067752
LV	TM18	20	15	0.070217
LV	TM18	25	5	0.083998
LV	TM18	25	10	0.084285
LV	TM18	25	15	0.085710
LV	TM18	35	5	0.085137
LV	TM18	35	10	0.094901
LV	TM18	35	15	0.095428
LV	TM18	45	5	0.069488
LV	TM18	45	10	0.089361
LV	TM18	45	15	0.091738

### 2.3.2 Conductividad térmica con fibra de ichu 5-10-20 cm.

**Tabla 2.13**

*Tabla conductividad térmica por ensayo – Ichu 5-10-20*

Composición	Espécimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$
ICH5	TM16	15	5	0.109385
ICH5	TM16	15	10	0.111368
ICH5	TM16	15	15	0.113465
ICH5	TM16	20	5	0.107094
ICH5	TM16	20	10	0.114237
ICH5	TM16	20	15	0.118333
ICH5	TM16	25	5	0.138774
ICH5	TM16	25	10	0.130881
ICH5	TM16	25	15	0.133027
ICH5	TM16	35	5	0.144609
ICH5	TM16	35	10	0.145001

<b>Composición</b>	<b>Espécimen</b>	<b>T° Media</b>	<b><math>\Delta T^a</math></b>	<b><math>\lambda</math></b>
ICH5	TM16	35	15	0.147215
ICH5	TM16	45	5	0.130919
ICH5	TM16	45	10	0.150102
ICH5	TM16	45	15	0.154970
ICH10	TM17	15	5	0.094925
ICH10	TM17	15	10	0.097677
ICH10	TM17	15	15	0.102184
ICH10	TM17	20	5	0.100273
ICH10	TM17	20	10	0.104694
ICH10	TM17	20	15	0.108008
ICH10	TM17	25	5	0.154566
ICH10	TM17	25	10	0.148383
ICH10	TM17	25	15	0.151855
ICH10	TM17	35	5	0.157655
ICH10	TM17	35	10	0.160804
ICH10	TM17	35	15	0.161953
ICH10	TM17	45	5	0.138895
ICH10	TM17	45	10	0.161361
ICH10	TM17	45	15	0.160129
ICH20	TM04	15	5	0.106557
ICH20	TM04	15	10	0.109160
ICH20	TM04	15	15	0.112176
ICH20	TM04	20	5	0.103150
ICH20	TM04	20	10	0.112408
ICH20	TM04	20	15	0.118455
ICH20	TM04	25	5	0.151693
ICH20	TM04	25	10	0.153868
ICH20	TM04	25	15	0.156680
ICH20	TM04	35	5	0.159574
ICH20	TM04	35	10	0.168429
ICH20	TM04	35	15	0.171221
ICH20	TM04	45	5	0.162510
ICH20	TM04	45	10	0.173972
ICH20	TM04	45	15	0.184790



### 2.3.3 Conductividad térmica conglomerado de fibra de ichu

**Tabla 2.14**

*Tabla conductividad térmica por ensayo Conglomerado Ichu (Elaboración Propia)*

Composición	Espécimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$
ICHC6	TM19	15	5	0.093365
ICHC6	TM19	15	10	0.094803
ICHC6	TM19	15	15	0.098418
ICHC6	TM19	20	5	0.093473
ICHC6	TM19	20	10	0.101206
ICHC6	TM19	20	15	0.105639
ICHC6	TM19	25	5	0.097148
ICHC6	TM19	25	10	0.106960
ICHC6	TM19	25	15	0.111932
ICHC6	TM19	35	5	0.136347
ICHC6	TM19	35	10	0.129057
ICHC6	TM19	35	15	0.135457
ICHC6	TM19	45	5	0.089104
ICHC6	TM19	45	10	0.108922
ICHC6	TM19	45	15	0.120038
ICHC6	TM20	15	5	0.100682
ICHC6	TM20	15	10	0.102551
ICHC6	TM20	15	15	0.105842
ICHC6	TM20	20	5	0.103628
ICHC6	TM20	20	10	0.106237
ICHC6	TM20	20	15	0.112108
ICHC6	TM20	25	5	0.104617
ICHC6	TM20	25	10	0.110444
ICHC6	TM20	25	15	0.118150
ICHC6	TM20	35	5	0.114639
ICHC6	TM20	35	10	0.111839
ICHC6	TM20	35	15	0.112446
ICHC6	TM20	45	5	0.102881
ICHC6	TM20	45	10	0.110194
ICHC6	TM20	45	15	0.116225
ICHC6	TM21	15	5	0.101579
ICHC6	TM21	15	10	0.101924
ICHC6	TM21	15	15	0.104032
ICHC6	TM21	20	5	0.104464
ICHC6	TM21	20	10	0.104257
ICHC6	TM21	20	15	0.111213

Composición	Espécimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$
ICHC6	TM21	25	5	0.103925
ICHC6	TM21	25	10	0.110187
ICHC6	TM21	25	15	0.118311
ICHC6	TM21	35	5	0.112524
ICHC6	TM21	35	10	0.110982
ICHC6	TM21	35	15	0.106625
ICHC6	TM21	45	5	0.092231
ICHC6	TM21	45	10	0.105167
ICHC6	TM21	45	15	0.110155

### 2.3.4 Conductividad térmica estructura metálica sin aislante

**Tabla 2.15**

*Tabla conductividad térmica por ensayo sin aislante.*

Composición	Espécimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$
AIRE	TM25	15	5	0.288633
AIRE	TM25	15	10	0.292174
AIRE	TM25	15	15	0.296731
AIRE	TM25	20	5	0.295364
AIRE	TM25	20	10	0.301389
AIRE	TM25	20	15	0.306220
AIRE	TM25	25	5	0.303107
AIRE	TM25	25	10	0.312820
AIRE	TM25	25	15	0.318140
AIRE	TM25	35	5	0.344238
AIRE	TM25	35	10	0.345180
AIRE	TM25	35	15	0.347342
AIRE	TM25	45	5	0.348881
AIRE	TM25	45	10	0.366476
AIRE	TM25	45	15	0.374770

### 2.3.5 Conductividad térmica estructura de madera sin aislante

**Tabla 2.16**

*Tabla conductividad térmica por ensayo sin aislante y estructura de madera*

Composición	Espécimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$
Mad	TM26	15	5	0.318779
Mad	TM26	15	10	0.324084
Mad	TM26	15	15	0.329383
Mad	TM26	20	5	0.331793
Mad	TM26	20	10	0.340713
Mad	TM26	20	15	0.347917
Mad	TM26	25	5	0.348630
Mad	TM26	25	10	0.359199
Mad	TM26	25	15	0.367007
Mad	TM26	35	5	0.397100
Mad	TM26	35	10	0.412655
Mad	TM26	35	15	0.425745
Mad	TM26	45	5	0.426208
Mad	TM26	45	10	0.453346
Mad	TM26	45	15	0.472115

### 2.4 Control y monitoreo de la incertidumbre

Se procedió según lo planificado aplicando las fórmulas de error aleatorio a los resultados de los ensayos significativos es decir aquellos que contenían como elemento aislante al conglomerado con ichu<5 o a la lana de vidrio, los cuadros resumen de ambos casos se presentan a continuación.

**Tabla 2.17**

*Incertidumbre de ensayos Ichu<5.*

Composic.	Especimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$	MEDIA	DES VEST	Error Sistemá tico	Error Aleato rio	Error (%)
ICHC<5	TM19	15	5	0.093365					
ICHC<5	TM20	15	5	0.100682	0.0985	0.0045	0.00493	0.00260	0.0%
ICHC<5	TM21	15	5	0.101579					
ICHC<5	TM19	20	5	0.093473					
ICHC<5	TM20	20	5	0.103628	0.1005	0.0061	0.00503	0.00353	0.0%
ICHC<5	TM21	20	5	0.104464					

Composic.	Especimen	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$	MEDIA	DES VEST	Error Sistemático	Error Aleatorio	Error (%)
ICHC<5	TM19	25	5	0.097148					
ICHC<5	TM20	25	5	0.104617	0.1019	0.0041	0.00509	0.00238	2.3%
ICHC<5	TM21	25	5	0.103925					
ICHC<5	TM19	35	5	<u>0.136347</u>					
ICHC<5	TM20	35	5	0.114639	0.1244	0.0168	0.00622	0.00973	7.8%
ICHC<5	TM21	35	5	0.112524					
ICHC<5	TM19	45	5	0.089104					
ICHC<5	TM20	45	5	0.102881	0.0947	0.0072	0.00474	0.00417	4.4%
ICHC<5	TM21	45	5	0.092231					
ICHC<5	TM19	15	10	0.094803					
ICHC<5	TM20	15	10	0.102551	0.0998	0.0043	0.00499	0.00248	2.5%
ICHC<5	TM21	15	10	0.101924					
ICHC<5	TM19	20	10	0.101206					
ICHC<5	TM20	20	10	0.106237	0.1039	0.0025	0.00520	0.00146	1.4%
ICHC<5	TM21	20	10	0.104257					
ICHC<5	TM19	25	10	0.106960					
ICHC<5	TM20	25	10	0.110444	0.1092	0.0019	0.00546	0.00112	1.0%
ICHC<5	TM21	25	10	0.110187					
ICHC<5	TM19	35	10	0.129057					
ICHC<5	TM20	35	10	0.111839	0.1173	0.0102	0.00586	0.00589	5.0%
ICHC<5	TM21	35	10	0.110982					
ICHC<5	TM19	45	10	0.108922					
ICHC<5	TM20	45	10	0.110194	0.1081	0.0026	0.00540	0.00151	1.4%
ICHC<5	TM21	45	10	0.105167					
ICHC<5	TM19	15	15	0.098418					
ICHC<5	TM20	15	15	0.105842	0.1028	0.0039	0.00514	0.00223	2.2%
ICHC<5	TM21	15	15	0.104032					
ICHC<5	TM19	20	15	0.105639					
ICHC<5	TM20	20	15	0.112108	0.1097	0.0035	0.00548	0.00202	1.8%
ICHC<5	TM21	20	15	0.111213					
ICHC<5	TM19	25	15	0.111932					
ICHC<5	TM20	25	15	0.118150	0.1161	0.0036	0.00581	0.00210	1.8%
ICHC<5	TM21	25	15	0.118311					
ICHC<5	TM19	35	15	<u>0.135457</u>					
ICHC<5	TM20	35	15	0.112446	0.1182	0.0152	0.00591	0.00880	7.4%
ICHC<5	TM21	35	15	0.106625					
ICHC<5	TM19	45	15	0.120038					
ICHC<5	TM20	45	15	0.116225	0.1155	0.0050	0.00577	0.00288	2.5%
ICHC<5	TM21	45	15	0.110155					

De la tabla 2.18 se pudo afirmar que casi todos los resultados de ensayos tienen errores aleatorios menores a 5% y pueden ser explicados por la magnitud esperada del error sistemático; la excepción se presenta en dos grupos que provienen de los ensayos con el espécimen TM19 a temperatura media de 35C°.

**Tabla 2.18**

*Incertidumbre de ensayos Lana de vidrio.*

Compo sición	Especi men	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$	MEDIO	DES VEST	E Sist.	E Aleat	Error (%)
LV	TM01-R	15	5	0.062774					
LV	TM05	15	5	0.078840	0.070016	0.0081	0.00350	0.00470	6.7%
LV	TM18	15	5	0.068433					
LV	TM01-R	20	5	0.060318					
LV	TM05	20	5	0.074944	0.066012	0.0078	0.00330	0.00452	6.8%
LV	TM18	20	5	0.062775					
LV	TM01-R	25	5	0.086428					
LV	TM05	25	5	0.103455	0.091294	0.0106	0.00456	0.00612	6.7%
LV	TM18	25	5	0.083998					
LV	TM01-R	35	5	0.082061					
LV	TM05	35	5	0.098969	0.088722	0.0090	0.00444	0.00520	5.9%
LV	TM18	35	5	0.085137					
LV	TM01-R	45	5	0.082573					
LV	TM05	45	5	0.099420	0.083827	0.0150	0.00419	0.00866	10.3%
LV	TM18	45	5	0.069488					
LV	TM01-R	15	10	0.065150					
LV	TM05	15	10	0.080099	0.071286	0.0078	0.00356	0.00452	6.3%
LV	TM18	15	10	0.068610					
LV	TM01-R	20	10	0.064636					
LV	TM05	20	10	0.083713	0.072034	0.0102	0.00360	0.00591	8.2%
LV	TM18	20	10	0.067752					
LV	TM01-R	25	10	0.083287					
LV	TM05	25	10	0.100989	0.089520	0.0099	0.00448	0.00574	6.4%
LV	TM18	25	10	0.084285					
LV	TM01-R	35	10	0.089388					
LV	TM05	35	10	0.108081	0.097457	0.0096	0.00487	0.00555	5.7%
LV	TM18	35	10	0.094901					
LV	TM01-R	45	10	0.095855					
LV	TM05	45	10	0.108941	0.098052	0.0100	0.00490	0.00576	5.9%
LV	TM18	45	10	0.089361					
LV	TM01-R	15	15	0.067389	0.073235	0.0077	0.00366	0.00447	6.1%

Compo sicion	Especi men	T° Media	$\Delta T^a$	$\lambda$	MEDIO	DES VEST	E Sist.	E Aleat	Error (%)
LV	TM05	15	15	0.082023					
LV	TM18	15	15	0.070294					
LV	TM01-R	20	15	0.069244					
LV	TM05	20	15	0.083436	0.074299	0.0079	0.00371	0.00458	6.2%
LV	TM18	20	15	0.070217					
LV	TM01-R	25	15	0.085757					
LV	TM05	25	15	0.101671	0.091046	0.0092	0.00455	0.00531	5.8%
LV	TM18	25	15	0.085710					
LV	TM01-R	35	15	0.098201					
LV	TM05	35	15	0.112499	0.102043	0.0092	0.00510	0.00529	5.2%
LV	TM18	35	15	0.095428					
LV	TM01-R	45	15	0.110670					
LV	TM05	45	15	0.108370	0.103593	0.0103	0.00518	0.00596	5.8%
LV	TM18	45	15	0.091738					

Para el caso de la lana de vidrio a la incertidumbre en todos los grupos excede el 5% siendo los resultados de ensayos del espécimen T05 los que influyen de manera determinante en este orden de desviación.

## CAPÍTULO III- RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El capítulo presente se organizó brindando en primer lugar los resultados de las caracterizaciones de especímenes en el proceso de ensayos y los correspondientes a la variable conductividad térmica. En gráficos subsiguientes se describen las curvas generadas con los datos de conductividad de manera descriptiva para cada tipo estudiado y después de manera comparada. También se exponen los valores de la conducción térmica correspondiente a los rellenos independientemente de las tapas de fibrocemento. Finalmente se entrega el factor obtenido que logra la equivalencia funcional entre la lana de vidrio y conglomerado de ichu.

### 3.1 Caracterización de especímenes- cuadro final

En la tabla 3.1 se aprecian los resultados de las caracterizaciones y controles de obtenidos en las diferentes etapas del proceso de ensayo por cada unidad de probeta elaborado y ensayado. Todos los valores se circunscribieron a los límites de normalidad necesaria.

**Tabla 3.1**

*Caracterización y controles por espécimen.*

Identificadores			Carácter. de muestras			Caráct. de espécimen	Controles Externos de espécimen		
ID	Probeta	Material	L (m)	Dia. (m)	H (%)	Dens. (Kg/m <sup>3</sup> )	Dim.	Plan.	H (%)
ICHU05	TM-16	FB/ICHU	4.94	0.634	13.767	27.899	OK	OK	0.75
ICHU10	TM-17	FB/ICHU	9.93	0.694	12.306	25.368	OK	OK	0.75
ICHU20	TM-04	FB/ICHU	19.98	0.640	14.087	22.207	OK	OK	0.70
ICHU<05	TM-19	FB/ICHU	3.61	0.562	11.699	35.521	OK	OK	0.75
ICHU<05	TM-20	FB/ICHU	3.78	0.595	12.906	36.034	OK	OK	0.70
ICHU<05	TM-21	FB/ICHU	4.48	0.597	13.501	35.954	OK	OK	0.75
LV	TM-01	FB/LV	N/A	N/A	N/A	8.906	OK	OK	0.75
LV	TM-05	FB/LV	N/A	N/A	N/A	8.622	OK	OK	0.70
LV	TM-18	FB/LV	N/A	N/A	N/A	8.789	OK	OK	0.75

Identificadores			Carácter de muestras			Caráct. de espécimen	Controles Externos de espécimen		
<b>FB</b>	TM-02	FB	N/A	N/A	N/A	N/A	OK	OK	0.70
<b>FB</b>	TM-03	FB	N/A	N/A	N/A	N/A	OK	OK	0.70
<b>FB</b>	TM-06	FB	N/A	N/A	N/A	N/A	OK	OK	0.70
<b>AIRE-MT</b>	TM-25	FB/AIRE	N/A	N/A	N/A	N/A	OK	OK	0.70
<b>AIRE-MD</b>	TM-26	FB/MAD	N/A	N/A	N/A	N/A	OK	OK	0.75

### 3.2 Análisis estadístico de resultados de conducción térmica

La tabla 3.2 muestra los promedios de los coeficientes de conductividad térmica que se obtuvieron para cada tipo de probeta en función de los datos entregados por laboratorio. Cabe destacar el resultado general de los ensayos significativos para los especímenes con relleno de lana de vidrio y los que contaron con relleno de ichu conglomerado con los resultados con coeficientes de 0.0848 y 0.1078. Una ventaja de 29% en calidad aislante térmica a favor de la lana de vidrio.

**Tabla 3.2**

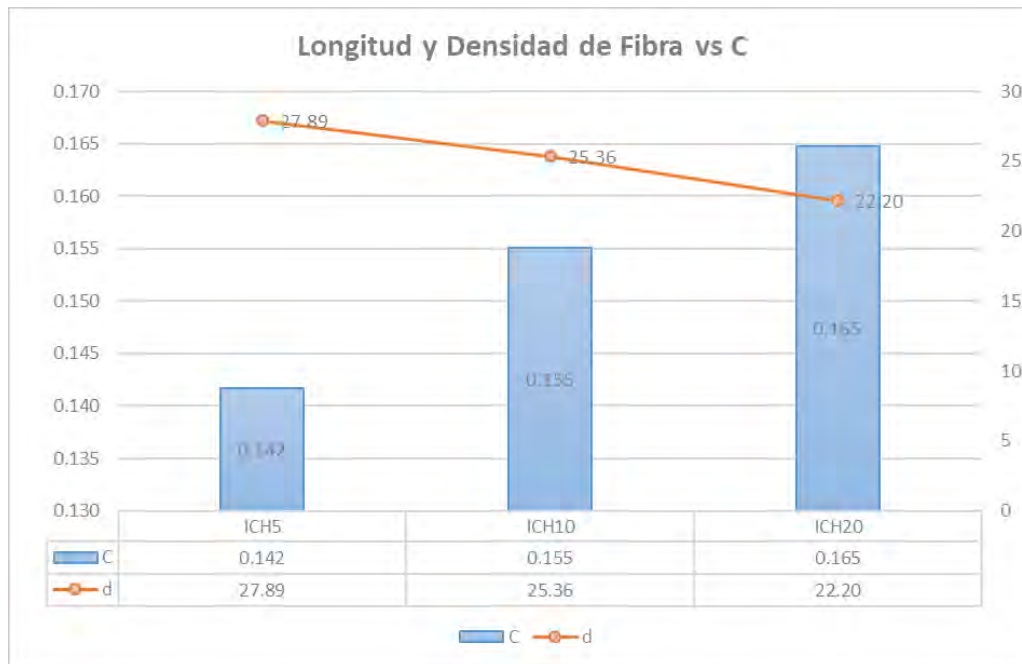
*Promedios clasificados de conductividad térmica (Elaboración Propia)*

	Etiquetas de fila	MAD	AIRE	ICH20	ICH10	ICH5	ICH<5	LV
<b>T° Media</b>	<b>15</b>	0.3241	0.2925	0.1093	0.0983	0.1114	0.1004	0.0715
	<b>5</b>	0.3188	0.2886	0.1066	0.0949	0.1094	0.0985	0.0700
$\Delta T^a$	<b>10</b>	0.3241	0.2922	0.1092	0.0977	0.1114	0.0998	0.0713
	<b>15</b>	0.3294	0.2967	0.1122	0.1022	0.1135	0.1028	0.0732
<b>T° Media</b>	<b>20</b>	0.3401	0.3010	0.1113	0.1043	0.1132	0.1047	0.0708
	<b>5</b>	0.3318	0.2954	0.1032	0.1003	0.1071	0.1005	0.0660
$\Delta T^a$	<b>10</b>	0.3407	0.3014	0.1124	0.1047	0.1142	0.1039	0.0720
	<b>15</b>	0.3479	0.3062	0.1185	0.1080	0.1183	0.1097	0.0743
<b>T° Media</b>	<b>25</b>	0.3583	0.3114	0.1541	0.1516	0.1342	0.1091	0.0906
$\Delta T^a$	<b>5</b>	0.3486	0.3031	0.1517	0.1546	0.1388	0.1019	0.0913



	<b>Etiquetas de fila</b>	<b>MAD</b>	<b>AIRE</b>	<b>ICH20</b>	<b>ICH10</b>	<b>ICH5</b>	<b>ICH&lt;5</b>	<b>LV</b>
	<b>10</b>	0.3592	0.3128	0.1539	0.1484	0.1309	0.1092	0.0895
	<b>15</b>	0.3670	0.3181	0.1567	0.1519	0.1330	0.1161	0.0910
<b>T° Media</b>	<b>35</b>	0.4118	0.3456	0.1664	0.1601	0.1456	0.1189	0.0961
	<b>5</b>	0.3971	0.3442	0.1596	0.1577	0.1446	0.1212	0.0887
$\Delta T^a$	<b>10</b>	0.4127	0.3452	0.1684	0.1608	0.1450	0.1173	0.0975
	<b>15</b>	0.4257	0.3473	0.1712	0.1620	0.1472	0.1182	0.1020
<b>T° Media</b>	<b>45</b>	0.4506	0.3634	0.1738	0.1535	0.1453	0.1061	0.0952
	<b>5</b>	0.4262	0.3489	0.1625	0.1389	0.1309	0.0947	0.0838
$\Delta T^a$	<b>10</b>	0.4533	0.3665	0.1740	0.1614	0.1501	0.1081	0.0981
	<b>15</b>	0.4721	0.3748	0.1848	0.1601	0.1550	0.1155	0.1036
	<b>Promedio General</b>	<b>0.3770</b>	<b>0.3228</b>	<b>0.1430</b>	<b>0.1336</b>	<b>0.1300</b>	<b>0.1078</b>	<b>0.0848</b>

En los primeros ensayos de referencia se generaron las tendencias observadas en la figura 3.1, las probetas con la fibra en cortes de mayor longitud tuvieron menor densidad, y la densidad es inversamente proporcional al coeficiente de conductividad térmica. Estos resultados tempranos propiciaron la elaboración de las probetas con cortes de longitud de fibra a 5cm y en forma de conglomerado.

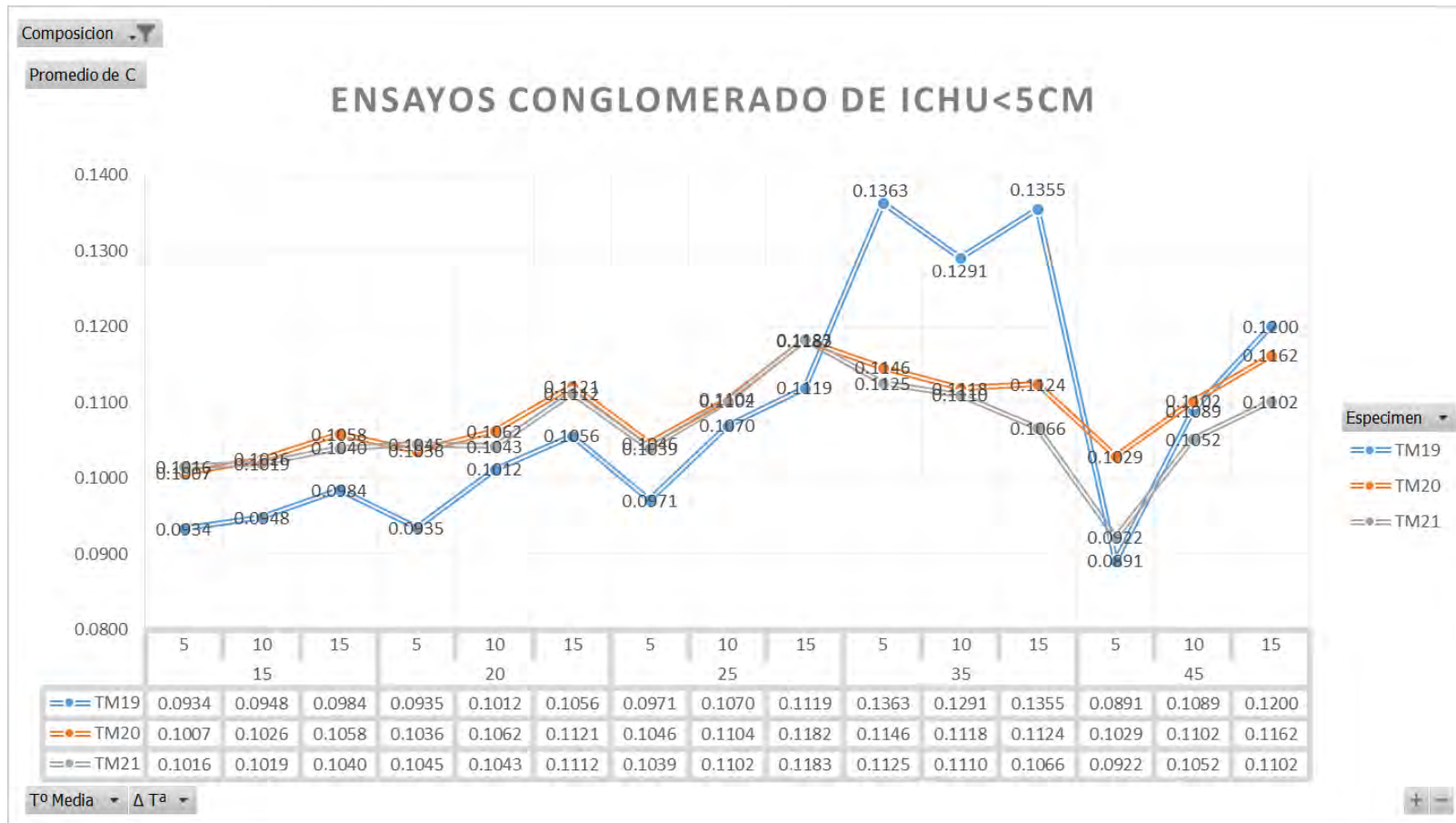


**Figura 3.1**

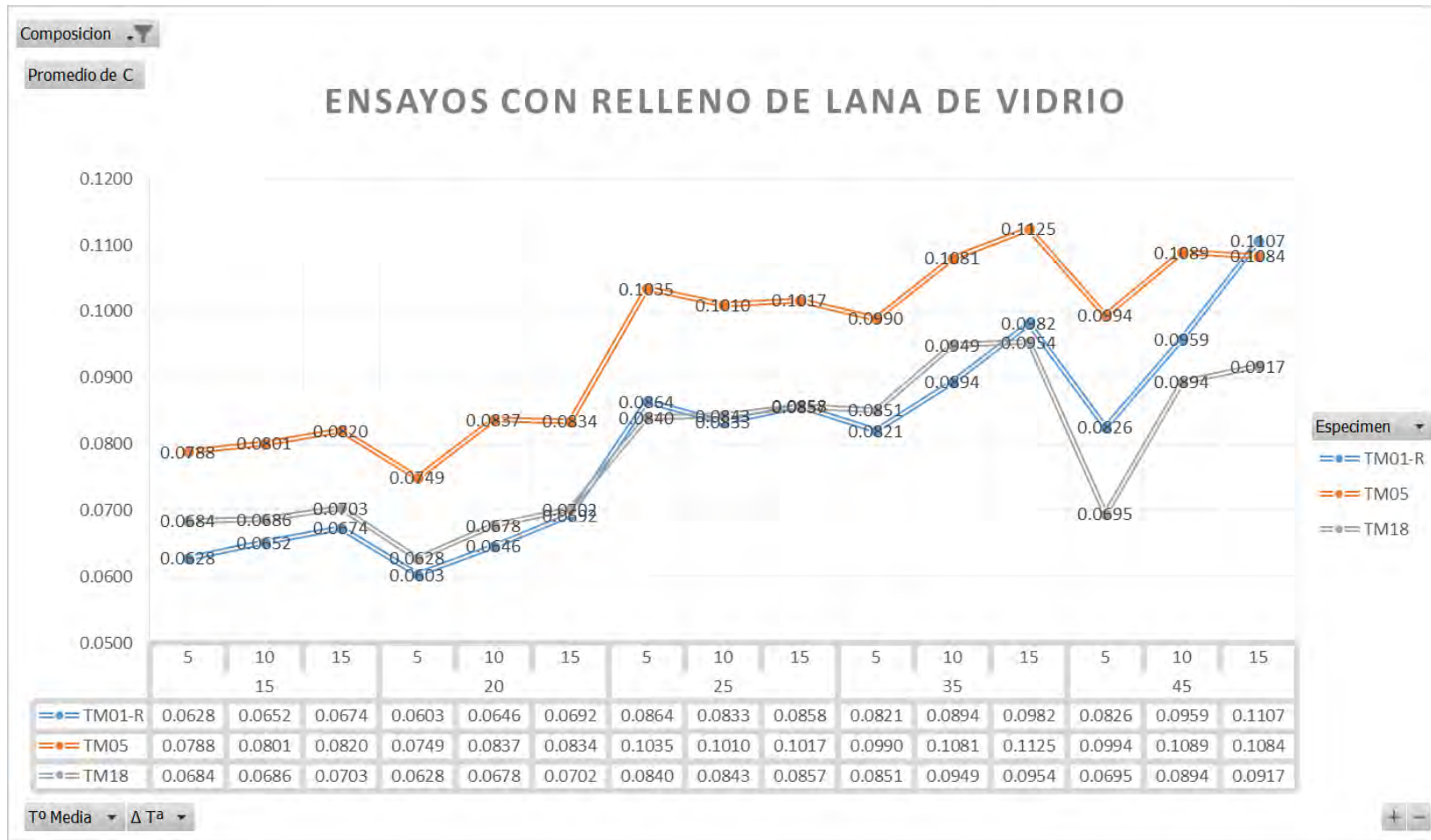
*Longitud de fibra de ichu vs densidad.*

Los resultados obtenidos de los ensayos con las probetas con relleno de conglomerados de Ichu se pueden ver en la figura 3.2. Cada línea independiente representa los datos de resultado en los ensayos para cada probeta. Se observó una tendencia estable para los tres especímenes con excepción de los datos de la probeta TM-19 cuando el ensayo se encontró a la temperatura media de 35 grados centígrados. El valor más bajo de coeficiente de conductividad térmica reportado en los ensayos fue de 0.0891 a la temperatura media de 45°C. y diferencia de temperaturas de 5°C.

De otro lado se generó el gráfico similar al anterior, mostrado en la figura 3.3, con los datos de las probetas con relleno de lana de vidrio en este caso la tendencia fue ligeramente más consistente puesto que no se presentaron puntos de inflexión. El valor más bajo de conductividad térmica hallado a lo largo del rango fue de 0.0603 a una temperatura media de 20°C y una diferencia de 5°C. Su contraparte el valor más alto 0.1125 a la temperatura media de 35°C con una diferencia de 15°C.



**Figura 3.2**  
 Conductividad en ensayos por espécimen “Ichu conglomerado”



**Figura 3.3**

*Conductividad en ensayos por espécimen “lana de vidrio”.*

En la figura 3.4 se grafican las curvas de resultados promedios de todas las probetas por tipo de relleno que contenían, las que muestran los valores más bajos de conductividad térmica y por ende mejor cualidad aislante son en primer lugar los que contaron con lana de vidrio y en segundo aquellos con el conglomerado de la fibra de ichu. Los valores intermedios corresponden a los ensayos relativos cuando fue utilizada la fibra de ichu cortada y sin adherente. Las 2 curvas con los valores más altos corresponden a probetas sin relleno que se emplearon para evaluar la posibilidad de algún puente térmico, como era de esperarse la ausencia de un relleno aumenta la conductividad térmica en un tabique porque el aire encuentra libertad de movimiento para generar la convección.



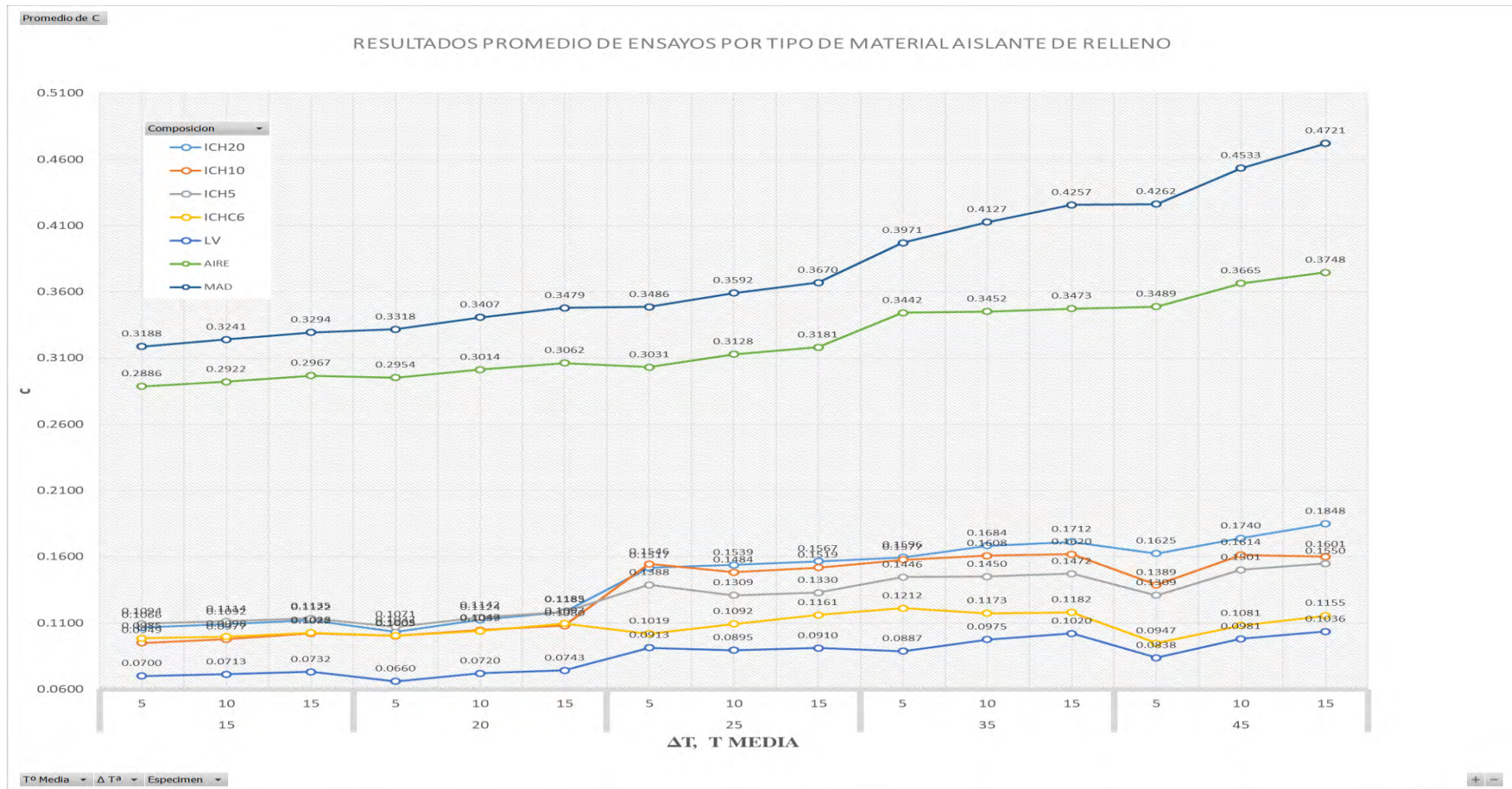


Figura 3.4

Conductividad promedio de ensayos por espécimen general.

### 3.3 Evaluación de la conducción térmica de los rellenos

La mayoría de convenciones consideran como material aislante térmico a aquel cuyo coeficiente de conductividad térmica:  $\lambda$  es inferior a  $\lambda < 0.10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  medido a  $23^\circ\text{C}$ , en el presente estudio se obtuvo un valor promedio de  $0.1078 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  para el  $\lambda$  del conjunto placa de fibrocemento y conglomerado de ichu  $< 5$  con densidad de  $35.5 \text{ Kg/m}^3$ .

Con estos datos se propuso hallar los valores independientes de  $\lambda$  para cada uno de los componentes del tabique estudiado. Mediante la resolución de la ecuación 1.1 de transferencia de calor por conductividad basada en la ley de Fourier aplicada a cada ensayo obtenemos el valor promedio de  $Q$  (W) el flujo de transferencia de calor.

Seguidamente en la ecuación 1.2 utilizada para calcular el valor  $Q$ (W) de una pared compuesta por varios materiales en serie despejamos el  $\lambda$  del ichu obtenemos la siguiente expresión:

$$\lambda_{\text{aislante}} = \frac{x_{\text{aislante}}}{\left[ \frac{\Delta T^\circ \times A}{Q_t} - \left( 2 \times \frac{x_{fc}}{\lambda_{fc}} \right) \right]}$$

La expresión matemática fue aplicada en los 45 casos y sus resultados se muestran en el apéndice 3, la media de  $\lambda$  coeficiente de conductividad térmica obtenida para el material aislante de ichu es:

$$\bar{\lambda} = 0.0943 \text{ W}/(\text{m} \times ^\circ\text{C})$$

Análogamente se efectuaron los cálculos para conseguir el valor promedio de conductividad térmica de la lana de vidrio bajo las condiciones del estudio sobre la base de los resultados de cada ensayo, ver apéndice 4.

$$\bar{\lambda} = 0.0729 \text{ W}/(\text{m} \times ^\circ\text{C})$$

Otros resultados que se consideraron relevantes para la evaluación de las propiedades térmicas del objeto de estudio fueron la resistencia térmica (R) en  $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$  y la conductancia térmica (C) en  $\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ . que se calcularon con las ecuaciones 1.3 y 1.4 respectivamente y se debió contar con el espesor del material para lo que se elaboró una lista de valores tabulados en un rango de desde los  $0.040 \text{ m}$  hasta  $0.200 \text{ m}$  que son anchos muy utilizados para una envolvente de vivienda.

**Tabla 3.3**

*Resistencia y Conductancia térmica por espesor de aislante de Ichu a la conductividad promedio de ensayos*

Conductividad Térmica $\lambda$ Ichu	Espesor (m)	Resistencia R Ichu ( $m^2 \cdot K/W$ )	Conductancia C Ichu ( $W/m^2 \cdot K$ )
0.0943	0.040	0.4241	2.3580
0.0943	0.050	0.5301	1.8864
0.0943	0.060	0.6361	1.5720
0.0943	0.065	0.6891	1.4511
0.0943	0.070	0.7422	1.3474
0.0943	<b>0.080</b>	<b>0.8482</b>	1.1790
0.0943	<b>0.090</b>	<b>0.9542</b>	1.0480
0.0943	0.100	1.0602	0.9432
0.0943	0.110	1.1662	0.8574
0.0943	0.120	1.2723	0.7860
0.0943	0.130	1.3783	0.7255
0.0943	0.140	1.4843	0.6737
0.0943	0.150	1.5903	0.6288
0.0943	0.160	1.6964	0.5895
0.0943	0.170	1.8024	0.5548
0.0943	0.180	1.9084	0.5240
0.0943	0.190	2.0144	0.4964
0.0943	0.200	2.1205	0.4716

También calculamos los valores correspondientes a la placa de fibrocemento de 8mm. de espesor.



**Tabla 3.4**

*Resistencia y Conductancia térmica por espesor de la placa de fibrocemento de 8mm.*

<b>Conductividad Térmica <math>\lambda</math> FC 8mm</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Resistencia R FC 8mm (m<sup>2</sup>·K/W)</b>	<b>Conductancia C FC 8mm (W/m<sup>2</sup>·K)</b>
0.2600	0.008	0.0308	32.5000

Con estos datos se procedió a elaborar la tabla 3.5 con los valores de R y C correspondientes al material total compuesto por el conglomerado de Ichu como aislante térmico y las 2 placas de fibrocemento de 8mm, una por cada cara exterior.

**Tabla 3.5**

*Resistencia y Conductancia térmica total por espesor del muro compuesto en estudio*

<b>Espesor (m)</b>	<b>Resistencia R Total (m<sup>2</sup>·K/W)</b>	<b>Conductancia C total (W/m<sup>2</sup>·K)</b>
0.056	0.4856	2.0592
0.066	0.5917	1.6902
0.076	0.6977	1.4333
0.081	0.7507	1.3321
0.086	0.8037	1.2442
0.096	0.9097	1.0992
0.106	1.0157	0.9845
0.116	1.1218	0.8915
0.126	1.2278	0.8145
0.136	1.3338	0.7497
0.146	1.4398	0.6945
0.156	1.5459	0.6469
0.166	1.6519	0.6054
0.176	1.7579	0.5689
0.186	1.8639	0.5365

<b>Espesor (m)</b>	<b>Resistencia R Total (m<sup>2</sup>·K/W)</b>	<b>Conductancia C total (W/m<sup>2</sup>·K)</b>
0.196	1.9699	0.5076
0.206	2.0760	0.4817
0.216	2.1820	0.4583

Del mismo modo fueron calculados R y C de la lana de vidrio con el valor obtenido de su conductividad térmica promedio sobre la base los datos de los 45 ensayos realizados y su espesor en metros y se encuentran en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6**

*Resistencia y Conductancia térmica por espesor de aislante térmico lana de vidrio*

<b>Conductividad Térmica <math>\lambda</math> Lana de Vidrio</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Resistencia R Lana de Vidrio (m<sup>2</sup>·K/W)</b>	<b>Conductancia C Lana de Vidrio (W/m<sup>2</sup>·K)</b>
0.0729	0.065	0.8914	1.1219

### 3.4 Equivalencia funcional entre la lana de vidrio y conglomerado de ichu

Otra información que pudo ser estimada y será de utilidad en los próximos subcapítulos de evaluación es la equivalencia funcional entre la lana de vidrio y el conglomerado de ichu para tal efecto buscaremos el valor más parecido al R de lana de vidrio en la tabla (3.18) se opera una extrapolación y se determina que el valor del espesor equivalente, es decir el espesor que debe tener el conglomerado de Ichu para lograr la misma resistencia térmica que la lana de vidrio con espesor 0.065 m es 0.084 m.

Finalmente se pudo hallar una relación ente los espesores que nos permitieron escalar los valores de la variable densidad y encontrar las equivalencias operativas respectivas. A modo de ejemplo de esto último fue hecho un cálculo que será referido en la evaluación de impacto ambiental cuando sean transformados los valores para comparar escenarios.

$$\text{Factor} = \text{espesor LV} / \text{espesor equivalente ichu} = 0.084 / 0.065 = 1.29$$

Conociendo que el valor promedio de la densidad del conglomerado de Ichu es 35.5 Kg/m<sup>3</sup>, aplicando el factor calculado, se obtuvo que la densidad equivalente es 45.79 Kg/m<sup>3</sup>.



## CAPÍTULO IV- EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

En el presente capítulo, la cualidad eco ambiental del material objeto de estudio es evaluada. Para tal efecto, por tratarse de un componente de uso en la industria de la construcción, la metodología del ciclo de vida del producto utilizada para valorar los materiales en modo cuna hasta la tumba es empleada.

**Tabla 4.1**

*Etapas del ciclo de vida de un material de construcción.*

Ítem	Etapas	Escenario
A1	Producto	Extracción MP
A2	Producto	suministro MP
A3	Producto	Fabricación
A4	Construcción	Transporte
A5	Construcción	Instalación
B1	Uso	Uso
B2	Uso	Mantenimiento
B3	Uso	Reparación
B4	Uso	Sustitución
B5	Uso	Rehabilitación
B6	Uso	Uso de energía en servicio
B7	Uso	Uso de agua en servicio
C1	Fin de vida	Demolición
C2	Fin de vida	Transporte
C3	Fin de vida	Tratamiento de residuos
C4	Fin de vida	Eliminación residuos

Categorías de impacto	Parámetro	Indicador de categoría
Agotamiento de recursos abióticos (AA)	Potencial de agotamiento de los recursos abióticos para recursos no fósiles	kg Sb eq.
Acidificación (A)	Potencial de acidificación de recursos hídricos y del suelo	kg SO <sub>2</sub> eq.
Eutrofización (Eu)	Potencial de eutrofización	kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>-3</sup> eq.
Cambio climático (CG)	Potencial de calentamiento global	kg CO <sub>2</sub> eq.
Destrucción de la capa de ozono (AO)	Potencial de agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC-11 eq.
Formación de oxidantes fotoquímicos (OF)	Potencial de formación de ozono fotoquímico	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq
Agotamiento de recursos abióticos fósiles (AAF)	Potencial de agotamiento de los recursos abióticos para recursos fósiles	MJ, valor calorífico neto

**Figura 4.1**

*Categoría de impacto en la evaluación de ciclo de vida según UNE-EN.(Carabaño, 2015)*

#### 4.1 Procedimiento

Teniendo como base el trabajo de (Carabaño, 2015) en el que se analizan y comparan los impactos ambientales de varios materiales constructivos aislantes con la metodología del ciclo de vida cuyas etapas y escenarios se muestran en la tabla 4.1, se planteó hacer una comparación entre la lana de vidrio y el conglomerado de Ichu, este último no formó parte del estudio base por lo que se tuvieron que emplear herramientas tales como agrupamiento por afinidad, estimaciones analógicas y ajustes de valoraciones mediante interpretación de contenido; consiguiéndose valores equivalentes que representaran al conglomerado de ichu de forma válida.

Lo primero fue elegir entre los materiales considerados en el estudio base aquel que fuera mas similar a la fibra de ichu y se optó por los paneles de celulosa. Luego se halló un factor de densidad equivalente entre ambos materiales que permitió obtener el peso equivalente de Ichu puesto que los datos de impactos evaluados se encontraban en función al peso de la muestra. Luego de ese primer acercamiento se procedió a la búsqueda de otro factor de equivalencia adicional, pero esta vez por medio de la estimación analógica en cada escenario y etapa del ciclo de vida, los factores obtenidos fueron aplicados a los datos que habían sido previamente modificados por el peso y de ese modo se generaron los valores definitivos del conglomerado de ichu para la comparación con los existentes de la lana de vidrio. A continuación, se desarrollan las etapas del procedimiento expuesto.

#### 4.1.1 La celulosa como material de referencia

Se eligió al panel de celulosa entre otras 3 alternativas como el material de referencia para el Ichu, debido a su origen natural mientras las otras alternativas eran sintéticas o minerales.

##### 4.1.1.1 Comparación celulosa - lana de vidrio

En una primera etapa se compararon los datos originales correspondientes a los ICV (Impactos de Ciclo de Vida) de la lana vidrio y los del panel de celulosa. Una lista de los ICV mencionados se puede encontrar en la figura 4.1.

Con los datos y premisas de su estudio Carabaño obtuvo las EICV (Evaluación del impacto del ciclo de vida) relacionando los resultados del Análisis de Impacto con los efectos ambientales que generan o propician.

En las siguientes tablas se muestran los impactos evaluados de un kg de material respectivo para las etapas A1-A3

Categorías de impacto		Indicador de categoría	Lana de vidrio	Film	Palé	A1-A3
Agotamiento de recursos abióticos	AA	kg Sb eq.	1,96E-02	4,94E-04	1,26E-04	2,02E-02
Acidificación	A	kg SO <sub>2</sub> eq.	1,61E-02	1,35E-04	5,50E-05	1,63E-02
Eutrofización	Eu	kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>-3</sup> eq.	1,43E-03	8,50E-06	8,04E-06	1,45E-03
Cambio climático	CG	kg CO <sub>2</sub> eq.	2,26E+00	3,37E-02	-7,81E-02	2,21E+00
Destrucción de la capa de ozono	AO	kg CFC-11 eq.	2,40E-07	3,69E-10	8,05E-10	2,41E-07
Formación de oxidantes fotoquímicos	OF	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	8,74E-04	6,81E-06	7,93E-06	8,89E-04
Agotamiento de recursos abióticos fósiles (energía consumida no renovable)	AAF	MJ	43,2	1,08	0,287	44,5

**Figura 4.2**

*Evaluación de impactos de la fabricación de 1 kg de lana de vidrio. Etapas A1-A3 (Carabaño, 2015).*

Categorías de impacto	Indicador de categoría		Fabricación de paneles de celulosa	Film	Palé	A1-A3
Agotamiento de recursos abióticos	AA	kg Sb eq.	2,20E-03	1,74E-03	5,06E-04	4,45E-03
Acidificación	A	kg SO <sub>2</sub> eq.	1,91E-03	4,74E-04	2,21E-04	2,61E-03
Eutrofización	Eu	kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>-3</sup> eq.	1,44E-04	2,99E-05	3,23E-05	2,06E-04
Cambio climático	CG	kg CO <sub>2</sub> eq.	3,08E-01	1,19E-01	-3,13E-01	1,14E-01
Destrucción de la capa de ozono	AO	kg CFC-11 eq.	2,64E-08	1,30E-09	3,23E-09	3,09E-08
Formación de oxidantes fotoquímicos	OF	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	7,28E-05	2,40E-05	3,18E-05	1,29E-04
Agotamiento de recursos abióticos fósiles (energía consumida no renovable)	AAF	MJ	4,64	3,79	1,15	9,58

**Figura 4.3**

*Evaluación de impactos de la fabricación de 1 kg de paneles de celulosa (Carabaño, 2015).*

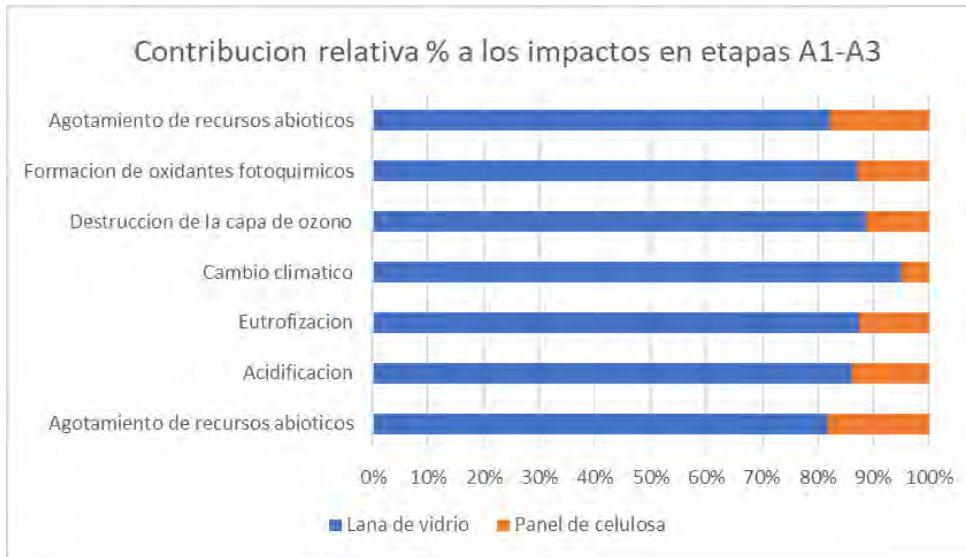
A partir de las tablas presentadas se elaboró una tabla comparativa entre los valores de la lana de vidrio y los de paneles de celulosa.

**Tabla 4.2**

*Comparación entre la lana de vidrio y la celulosa en las categorías de impacto etapa A1-A3.*

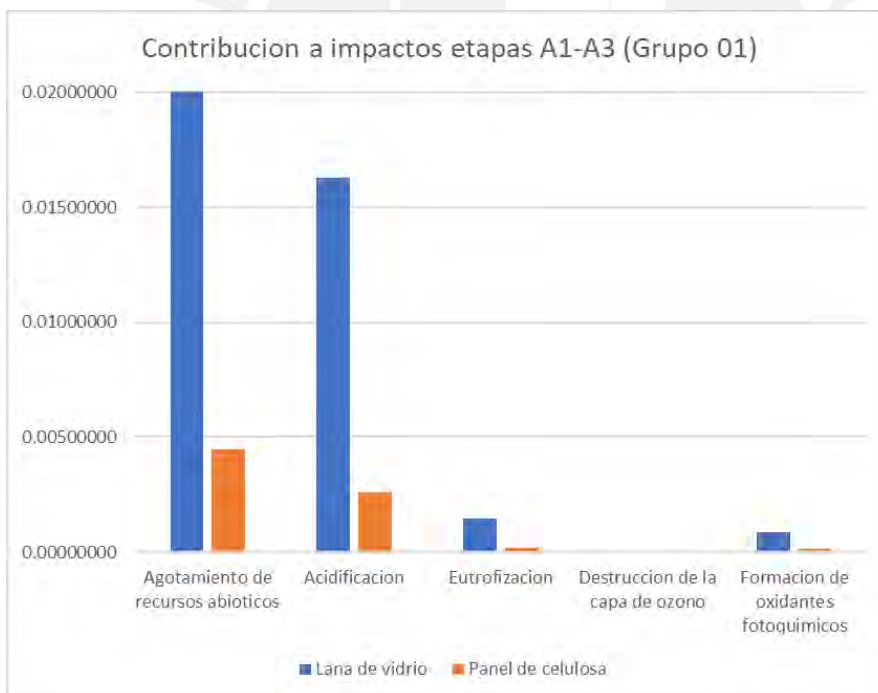
Categoría de impacto	Lana de vidrio	Panel de celulosa
Agotamiento de recursos abióticos	0.02020000	0.00445000
Acidificación	0.01630000	0.00261000
Eutrofización	0.00145000	0.00020600
Cambio climático	2.21000000	0.11400000
Destrucción de la capa de ozono	0.00000024	0.00000003
Formación de oxidantes fotoquímicos	0.00088900	0.00012900
Agotamiento de recursos abióticos	44.50000000	9.58000000

A continuación, se elaboraron los gráficos que permiten visualizar con claridad la preponderancia del impacto ambiental por parte de la lana de vidrio en esta etapa (A1-A3) de fabricación del producto que es la de mayor peso ponderado, con más del 90% de influencia en los totales del ciclo de vida completo.



**Figura 4.4**

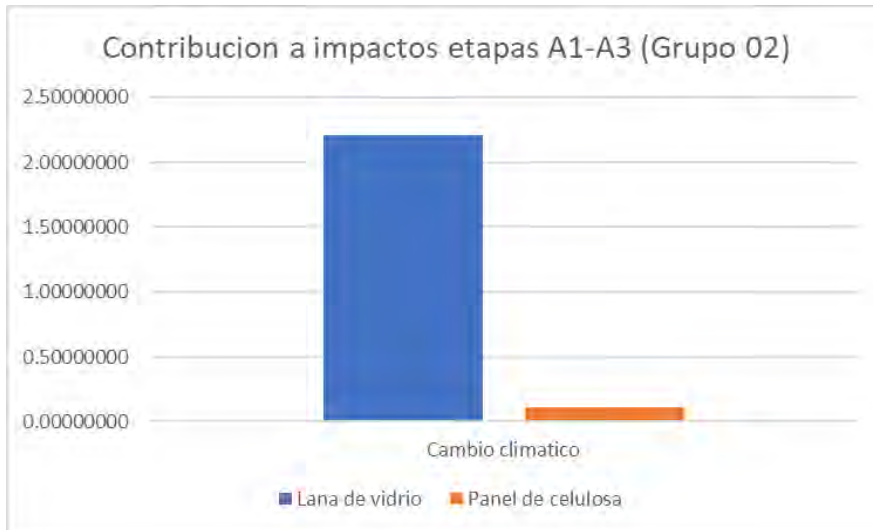
*Contribución relativa % por impacto en la fabricación*



**Figura 4.5**

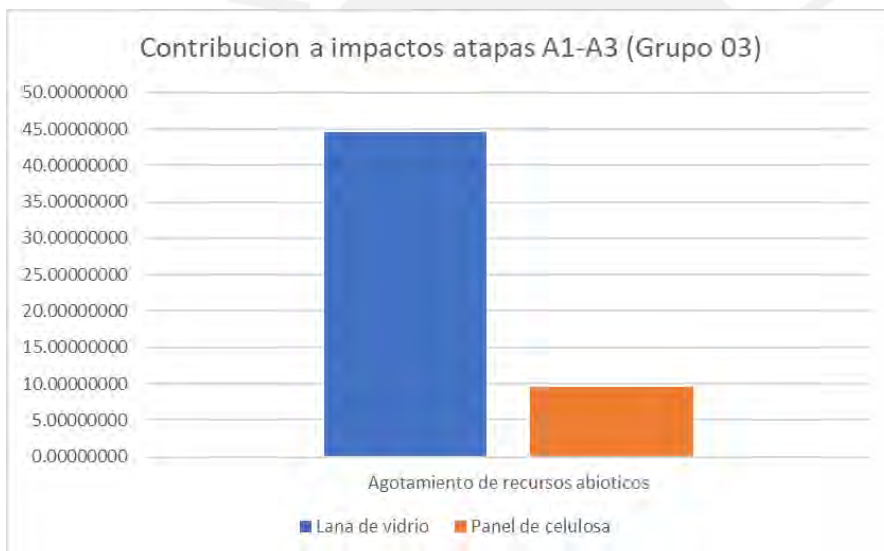
*Contribución relativa % por impacto en fabricación escala grupo 01.*





**Figura 4.6**

*Contribución relativa % por impacto en fabricación escala grupo 02.*



**Figura 4.7**

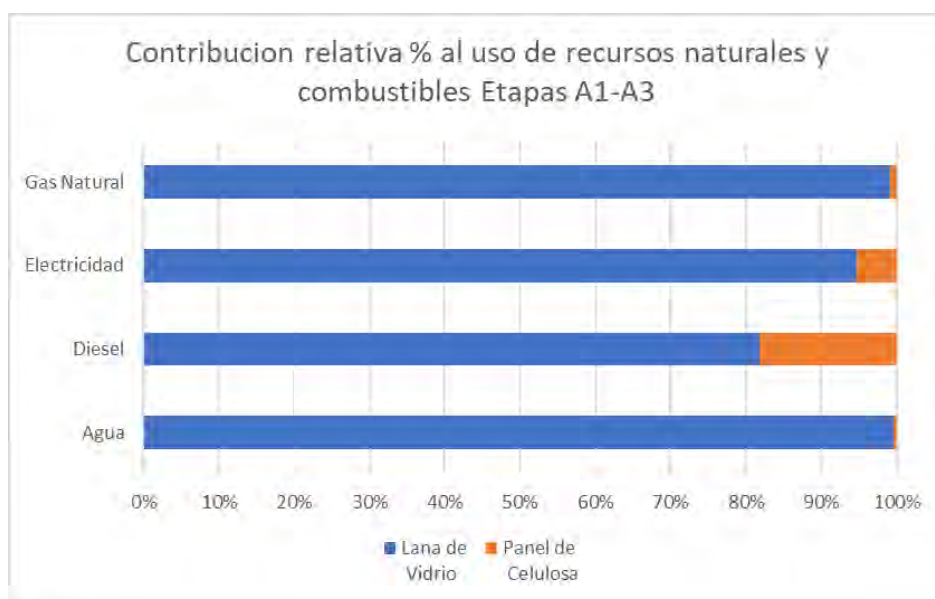
*Contribución relativa % por impacto en fabricación escala grupo 03.*

Otro aspecto relevante en esta etapa, aunque no forma parte de la evaluación en el ciclo de vida es el referido al uso de recursos naturales y combustibles. Para tal efecto con los datos de los ICV se elaboró la tabla 4.3 comparativa de uso de Recursos naturales y combustibles para la fabricación de 1kg de producto Lana de vidrio vs Panel de Celulosa.

**Tabla 4.3**

*Usos de Recursos naturales y combustibles fabricar 1kg de producto*

Componente	Lana de vidrio	Panel de celulosa	Unidad
Agua	0.00570	0.00002	m3
Diésel	0.05400	0.01200	MJ
Electricidad	2.30000	0.12700	KWh
Gas Natural	7.33000	0.06400	MJ

**Figura 4.8**

*Contribución relativa % al uso de recursos naturales en fabricación*

Hasta este punto se puede apreciar la gran diferencia en impacto ambiental existente entre la lana de vidrio y los paneles de celulosa de origen natural vegetal durante la etapa de fabricación, pero es un resultado, aunque importante, parcial. A continuación, se procede con la evaluación el ciclo completo con los datos de ICV de la lana de vidrio por un lado y los de los paneles de celulosa, adecuados y ajustados con los sustentos respectivos, de modo que puedan representar al material aislante de ichu en la comparación.

#### 4.1.2 Alcance de la evaluación en el ciclo de vida de producto

El ciclo de vida en la tesis de Carabaño elimina algunos de los escenarios quedando reducido a los que aparecen en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4***Etapas del ciclo de vida y escenarios incluidos en estudio*

<b>Ítem</b>	<b>Etapas</b>	<b>Escenario</b>
A1	Producto	Extracción MP
A2	Producto	suministro MP
A3	Producto	Fabricación
A4	Construcción	Transporte
A5	Construcción	Instalación
C2	Fin de vida	Transporte
C4	Fin de vida	Eliminación Residuos

Como se puede advertir no se han considerado los escenarios de demolición C1 y reciclaje C3 (tratamiento de residuos) en la etapa de fin de vida a decir de la autora debido a la reducida y contradictoria información existente que las hacen difíciles de modelar válidamente.

De otro lado no se contempla la etapa de Uso del edificio (B1-B7), puesto que los materiales elegidos poseen la misma conductividad. Al poseer la misma conductividad el uso de la energía en el edificio sería el mismo en todos los casos (Carabaño 2015).

Una vez delimitado el alcance del ciclo de vida tocó comparar los datos de la evaluación de los impactos ambientales de la lana de vidrio y el Ichu; para lo cual son necesarias etapas de transformación de los datos del panel de celulosa en datos del conglomerado de Ichu mediante aplicación sucesiva de factores de equivalencia entre ambos materiales

En la tabla 4.5 se muestran los impactos evaluados de 4.2 kg de Panel de celulosa para las etapas A1-A3, A4, A5, C2 y C4

**Tabla 4.5**

*Impactos evaluados de 4.2 kg de Panel de celulosa para las etapas A1-A3, A4, A5, C2 y C4.*

<b>Impacto ambiental</b>	<b>A1-A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>C2</b>	<b>C4</b>	<b>TOTAL</b>
Agotamiento de recursos abióticos	0.018700	0.000000	0.002160	0.000000	0.000000	0.02086004
Acidificación	0.010900	0.002840	0.000552	0.000107	0.000073	0.01447160
Eutrofización	0.000866	0.000621	0.000046	0.000023	0.000016	0.00157220
Cambio climático	0.479000	0.860000	0.160000	0.032600	0.009680	1.54128000
Destrucción de la capa de ozono	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00000016
Formación de oxidantes fotoquímicos	0.000540	0.000217	0.000033	0.000008	0.000003	0.00080099
Agotamiento de recursos abióticos	40.240000	12.080000	4.790000	0.460000	0.150000	57.72000000

#### **4.1.3 Equivalencia: panel de celulosa (PC) - conglomerado de ichu (CI)**

##### 4.1.3.1 Factor de espesor equivalente entre Ichu y lana de vidrio

En la tabla 4.6 se muestra el factor de espesor equivalente entre la Lana de vidrio (LV) y el conglomerado de ichu (CI),

Se buscó la equivalencia entre los resultados de coeficiente térmico de la lana de vidrio con 0.073 e Ichu con 0.094 efectuando las operaciones y despejes necesarios detallados en el subcapítulo de resultados se determinó que la equivalencia obliga a incrementar en un 29% el espesor de Ichu respecto al de la lana de vidrio.

**Tabla 4.6**

*Factor de espesor equivalente entre LV e CI.*

<b>Datos</b>	<b>LV</b>	<b>ICHU</b>
Coefficiente térmico de estudio	0.073	0.094
Incremento equivalente en espesor	-	29%
Densidad de estudio Kg/m <sup>3</sup>	-	35.85

4.1.3.2 Factor de densidad equivalente entre el panel de celulosa y el conglomerado de ichu

Con el dato de 29% de incremento en espesor y el valor de la densidad del Ichu de 35.85 Kg/m<sup>3</sup> se estimó en 45.79 Kg/m<sup>3</sup> la densidad aparente para lograr equivalencia con la lana de vidrio. Incluyendo en los cálculos el valor de 70 Kg/ el factor proporcional es cociente de las densidades Ichu equivalente y Panel celulosa igual a 0.65.

**Tabla 4.7**

*Incremento de espesor de Ichu y equivalencia entre LV e Ichu (Elaboración Propia)*

Equivalencia funcional	Panel Celulosa	Ichu equivalente	Factor
Densidad Kg/m <sup>3</sup>	70	45.79	0.650

Se aplicó el factor obtenido en la tabla 4.7 a los datos de la tabla 4.5 y se obtuvieron los valores de la tabla 4.8. A partir de este paso la base de cálculos fue 2.73 kg. de conglomerado Ichu que reemplazó a los 4.2 kg de panel de celulosa.

**Tabla 4.8**

*Impactos evaluados de 2.73 kg de Ichu para las etapas A1-A3, A4, A5, C2 y C4.*

Impacto ambiental	A1-A3	A4	A5	C2	C4	TOTAL
Agotamiento de recursos abióticos	0.011780	0.000000	0.001361	0.000000	0.000000	0.01314048
Acidificación	0.006866	0.001789	0.000348	0.000067	0.000046	0.00911618
Eutrofización	0.000546	0.000391	0.000029	0.000014	0.000010	0.00099038
Cambio climático	0.301739	0.541745	0.100790	0.020536	0.006098	0.97090732
Destrucción de la capa de ozono	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.00000010
Formación de oxidantes fotoquímicos	0.000340	0.000137	0.000021	0.000005	0.000002	0.00050457
Agotamiento de recursos abióticos	25.348613	7.609623	3.017392	0.289770	0.094490	36.35988943

#### 4.1.3.3 Factor de equivalencia por estimación analógica entre PC y CI

El siguiente paso consistió en formular una estimación analógica fundamentada en la comparación previa de las características determinantes del panel de celulosa y el Ichu conglomerado. Esta operación y los factores de equivalencia resultantes para cada etapa del ciclo de vida se encuentran en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9**

*Factor de equivalencia por estimación analógica PC vs CI*

Item	Etapas	Escenario	Paneles de celulosa	Ichu	Factor Equivalente	
A1	Producto	Extracción MP	Reciclado	Natural	1.00	
A2	Producto	suministro MP	De la zona	De la zona	1.00	
A3	Producto	Fabricación	Uso de químicos, Uso intensivo de recursos	No usa químicos, uso bajo de recursos	0.50	0.83
A4	Construcción	Transporte	941km	Fabricación y Construcción en una sola zona geográfica	0.50	0.50
A5	Construcción	Instalación	Con espiga o silicona	Silicona	1.00	1.00
C2	Fin de vida	Transporte	Distancia media 50km	Vertedero cercano, Material biodegradable	0.75	0.75
C4	Fin de vida	Eliminación Residuos	Vertedero	Vertedero	1.00	1.00

Para la explicación de la forma de obtención de los factores, a modo de ejemplo en el escenario de transporte del panel de celulosa Carabaño considero 941 km, el ajuste comparado viene dado porque se estimó que en el caso del Ichu el proceso de elaboración y las construcciones a donde llegaría el producto final comparten la misma zona geográfica lo cual acortaría las distancias previstas en el trabajo base a menos del 50%.

4.1.3.4 Valores equivalentes de impactos ambientales para 2.4 kg de conglomerado de Ichu

Los factores de equivalencia por estimación analógica obtenidos en la tabla 4.8 se aplicaron a los de la tabla 4.9 y se generó la tabla 4.10 con los resultados definitivos para la comparación final con los de la lana de vidrio.

**Tabla 4.10**

*Valores equivalentes de impactos ambientales para 2.4 kg de conglomerado de Ichu.*

<b>Impacto ambiental</b>	<b>A1-A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>C2</b>	<b>C4</b>	<b>TOTAL</b>
Agotamiento de recursos abióticos	0.009816	0.000000	0.001361	0.000000	0.000000	0.0111772
Acidificación	0.005722	0.000895	0.000348	0.000051	0.000046	0.0070604
Eutrofización	0.000455	0.000196	0.000029	0.000011	0.000010	0.0007002
Cambio climático	0.251449	0.270872	0.100790	0.015402	0.006098	0.6446111
Destrucción de la capa de ozono	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000001
Formación de oxidantes fotoquímicos	0.000283	0.000068	0.000021	0.000004	0.000002	0.0003782
Agotamiento de recursos abióticos	21.123844	3.804812	3.017392	0.217328	0.094490	28.2578663

#### 4.1.4 Comparación lana de vidrio - conglomerado de ichu

En la siguiente tabla 4.11 se muestran los impactos evaluados de 2.4 kg de Lana de Vidrio para las etapas A1-A3, A4, A5, C2 y C4

**Tabla 4.11**

*Impactos evaluados de 2.4 kg de Lana de Vidrio para las etapas A1-A3, A4, A5, C2 y C4 (Carabaño)*

<b>Impacto ambiental</b>	<b>A1-A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>C2</b>	<b>C4</b>	<b>TOTAL</b>
Agotamiento de recursos abióticos	0.048500	0.000000	0.002160	0.000000	0.000000	0.0506600
Acidificación	0.039100	0.001370	0.000552	0.000103	0.000042	0.0411665
Eutrofización	0.003480	0.000301	0.000046	0.000000	0.000009	0.0038362
Cambio climático	5.300000	0.413000	0.160000	0.031100	0.005530	5.9096300
Destrucción de la capa de ozono	0.000001	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.0000006
Formación de oxidantes fotoquímicos	0.002130	0.000105	0.000033	0.000008	0.000002	0.0022774
Agotamiento de recursos abióticos	106.800000	5.800000	4.790000	0.440000	0.080000	117.9100000

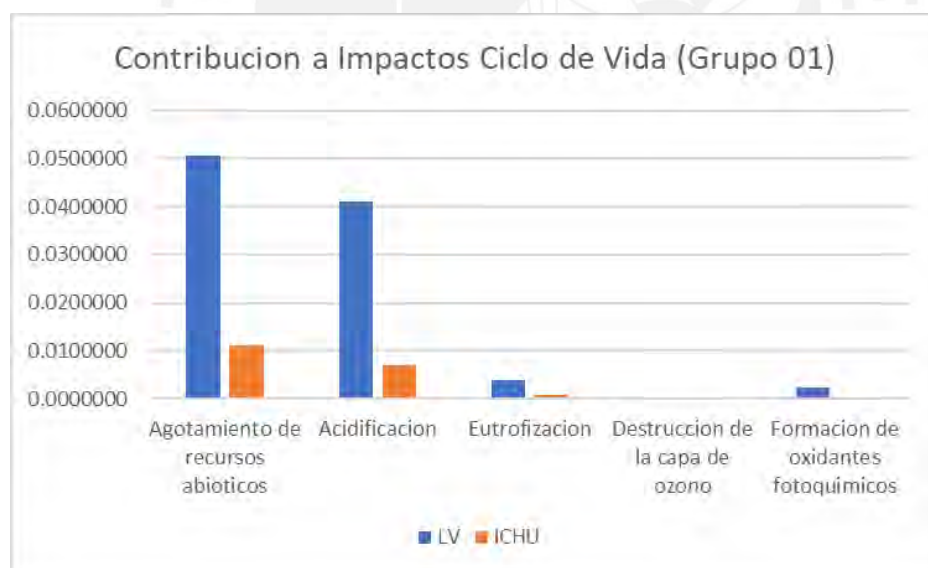
En la tabla 4.12 se comparan los resultados totales del ciclo vida de la lana vidrio y el Ichu (estimado analógico con base en Panel Celulosa).

**Tabla 4.12**

*Lana de vidrio vs Ichu estimado para las etapas A1-A3, A4, A5, C2 y C4.*

Impacto ambiental	ICHU	LV
Agotamiento de recursos abióticos	0.0111772	0.0506600
Acidificación	0.0070604	0.0411665
Eutrofización	0.0007002	0.0038362
Cambio climático	0.6446111	5.9096300
Destrucción de la capa de ozono	0.0000001	0.0000006
Formación de oxidantes fotoquímicos	0.0003782	0.0022774
Agotamiento de recursos abióticos	28.2578663	117.9100000

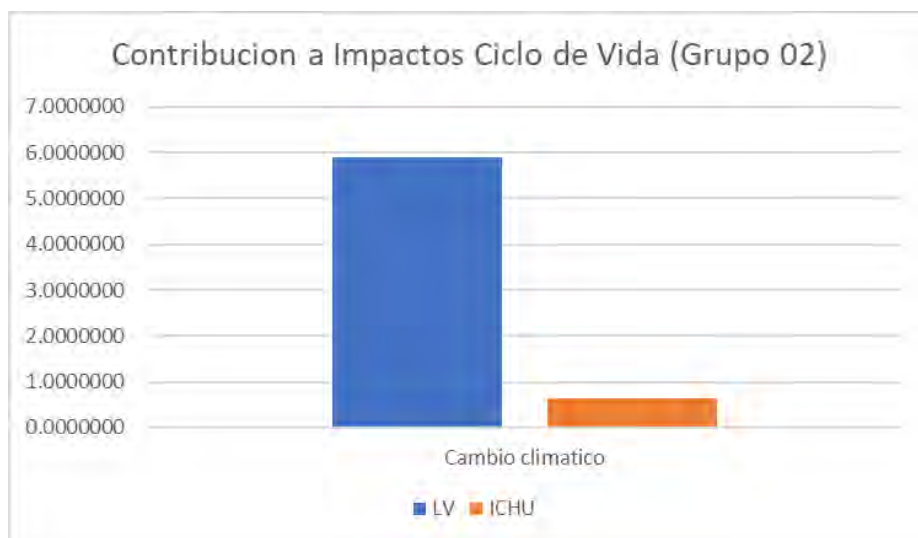
De los datos de la tabla 4.12 se pueden deslindar tres gráficos con datos agrupados en escalas convenientes para permitir visualizar los valores.



**Figura 4.9**

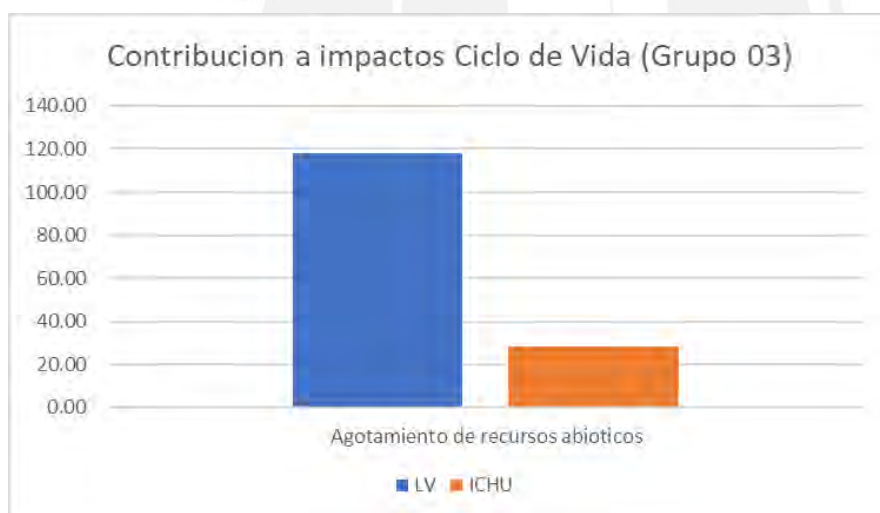
*Contribución relativa % a impactos en ciclo de vida LV vs Ichu. Grupo 01 por escala*





**Figura 4.10**

*Contribución relativa % a impactos en ciclo de vida LV vs Ichu. Grupo 02 por escala*










**Figura 4.11**

*Contribución relativa % a impactos en ciclo de vida LV vs Ichu. Grupo 03 por escala*

## 4.2 Valoración cualitativa y comparación final de impacto ambiental

Para este propósito se estimaron niveles de importancia en una escala del 1 al 10 siendo 10 el indicativo de muy importante en función de los datos de los gráficos de

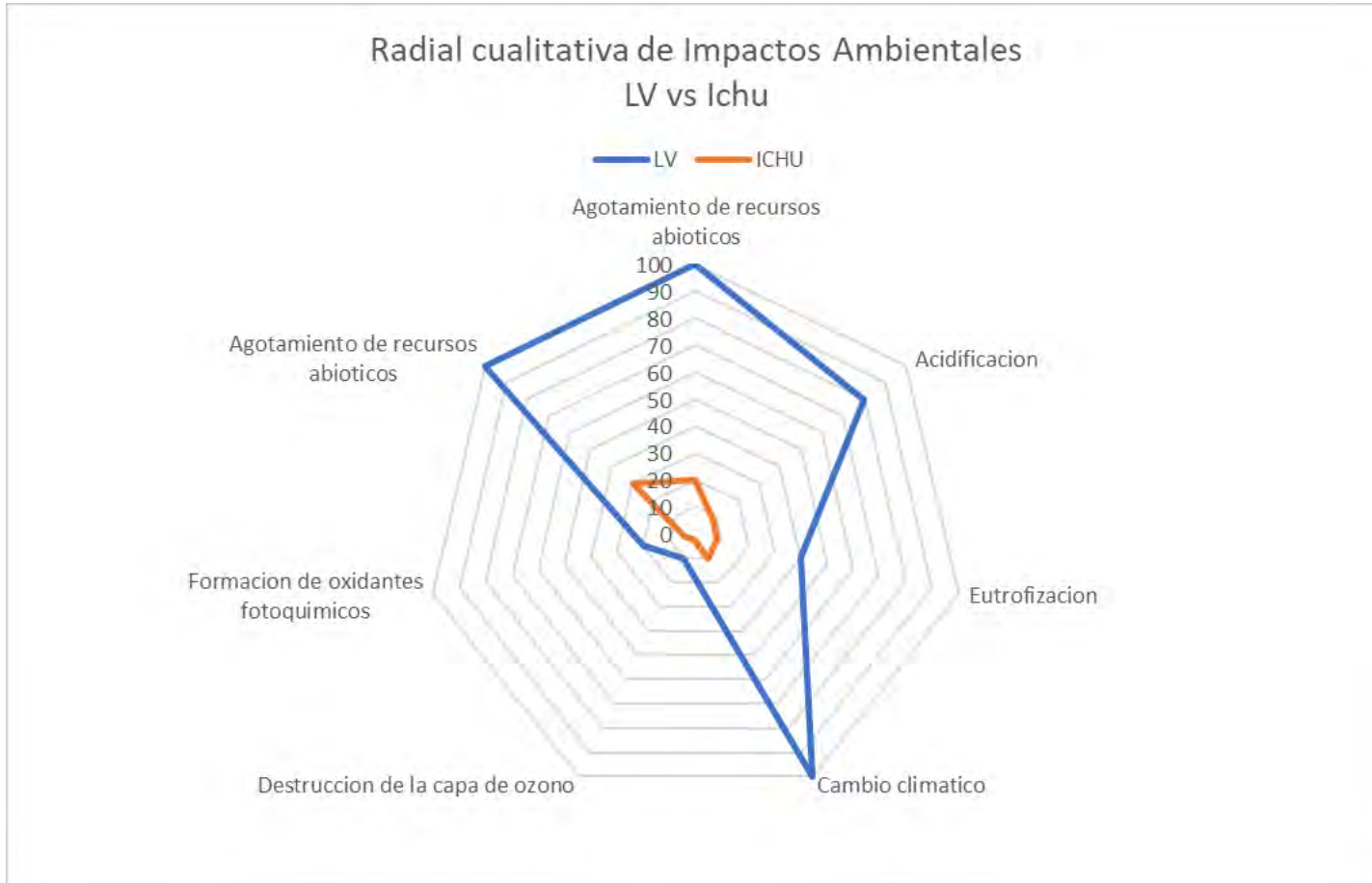
contribución a impactos del ciclo de vida (figura 4.12). También se calculó la proporción de participación total en cada uno de los impactos de la lana ve vidrio y del ichu.

Impacto Ambiental	Importancia	Proporción	LV	ICHU
<i>Agotamiento de recursos abióticos</i>	10		100	20
<i>Acidificación</i>	8		80	8
<i>Eutrofización</i>	4		40	8
<i>Cambio climático</i>	10		100	10
<i>Destrucción de la capa de ozono</i>	2		10	2
<i>Formación de oxidantes fotoquímicos</i>	2		20	4
<i>Agotamiento de recursos abióticos</i>	10		100	30

**Figura 4.12**

*Valoración por Importancia y proporción relativa para comparación de LV vs Ichu.*

Finalmente se presenta de manera gráfica los resultados obtenidos en la figura 4.13 radial cualitativa de impactos ambientales. En esta grafica se aprecia claramente la diferencia de magnitud en impacto ambiental entre ambos materiales; determinando categóricamente al perfil ambiental del Ichu como el mejor a lo largo del ciclo de vida para todos los impactos y en todos los escenarios analizados.



**Figura 4.13**  
*Grafica radial de comparación cualitativa entre LV e Ichu por impactos ambientales*

## CAPÍTULO V- EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Para conseguir los objetivos de Evaluación de la Eficiencia Energética del tabique con relleno de Ichu se utilizaron los programas computacionales Revit e Insight (Deepa et al., 2019) ambos de Autodesk. Con el primero fue creado el edificio ingresando datos básicos entre los que destacan la ubicación, dimensiones, tipo de edificio, el uso operativo planificado, y datos técnicos como las características de los materiales y sus propiedades térmicas.

Luego que se logró tener al edificio a nivel de detalle requerido por el estudio se generó el modelo analítico que fue enviado a calcularse en la plataforma virtual de Insight 360 la cual está conformada por motores de simulación que se ejecutan utilizando técnicas de computación en una nube representando millones de posibilidades potenciales a la vez.

Los resultados del cálculo se agruparon en un proyecto que durante la etapa de evaluación de eficiencia energética se actualizó, corrigió o modificó de una manera organizada mediante herramientas que permitieron controlar los parámetros influyentes en los resultados.

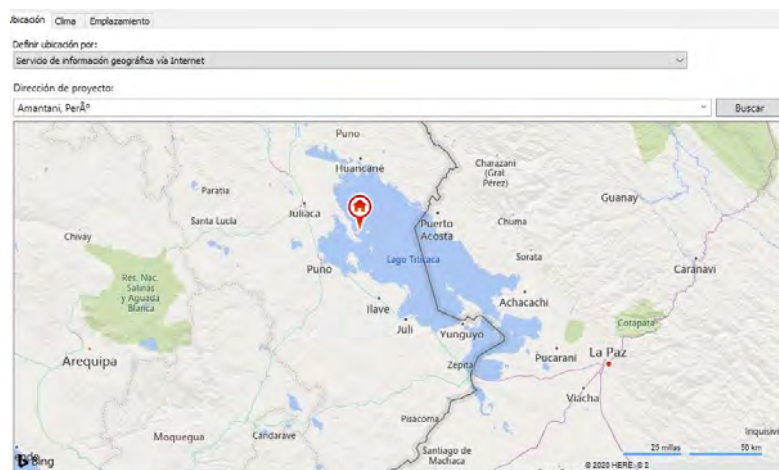
Esos parámetros permitieron finalmente optimizar el proyecto estudiado comparándolo con el estándar ASHRAE 90.1.

A continuación, se detallan brevemente los pasos realizados para el diseño, simulación y optimización de resultados con el modelo propuesto.

Paso 1: El primer paso fue crear la masa de la envolvente según lo planificado. Para tener una referencia se revisó la norma 0.20 de construcción que indica el tamaño mínimo para una vivienda habitable los 25m<sup>2</sup> considerando que esta va a ser una vivienda unifamiliar se consideró el triple de esa dimensión básica, este modo escalable puede facilitar posteriores cálculos y comparaciones; en cuanto a la altura libre se tomó el valor de 2.50 m. Finalmente, las dimensiones ingresadas en el programa fueron: Área de 75m<sup>2</sup>. (6.00m x 12.50m) y altura h=2.50m

Paso 2: La definición de la ubicación geográfica del modelo fue el siguiente paso para lo cual se recurrió al informe de Senamhi PMAHYF 2017 ver apéndice 2 donde se

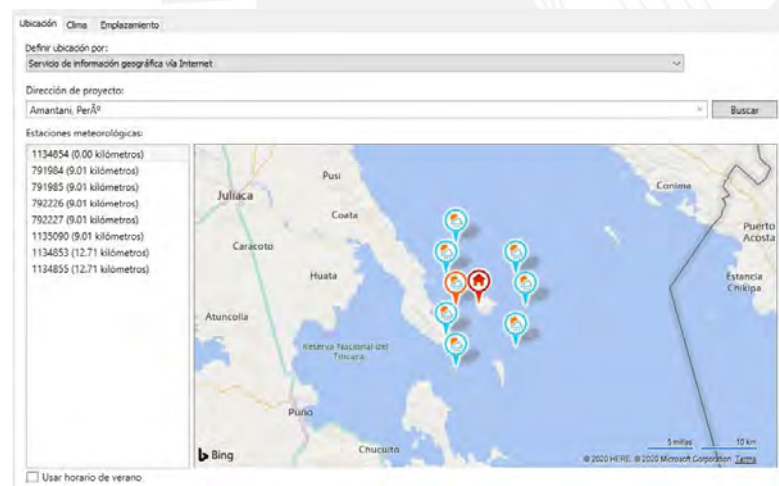
listan el total de distritos priorizados en el marco del plan multisectorial ante heladas y friajes; se escogió de entre el grupo de más alto ponderado de prioridad al distrito de Amantani perteneciente a la provincia y departamento de Puno.



**Figura 5.1**

*Ubicación geográfica del modelo en Revit*

También verificamos la existencia de estaciones meteorológicas cercanas a la ubicación escogida de modo que los datos climatológicos fueran válidos y confiables.



**Figura 5.2**

*Estaciones meteorológicas cercanas a la Ubicación geográfica elegida para el modelo.*

Paso 3: El tipo de edificio como vivienda Unifamiliar fue el que se escogió para determinar la configuración del modelo, la tabla con los parámetros y sus valores por defecto se presentan en la figura 5.3.

### Unifamiliar

Parámetro	Valor por defecto
Tabla de planificación de ocupación	Vivienda - 24 horas
Tabla de planificación de iluminación/equipos	Iluminación residencial - Todo el día
Personas/100 m <sup>2</sup>	0.945
Nivel de actividad humana	De pie, trabajo ligero, andando
Incremento de calor por presencia de personas (W/persona)	73
Incremento de calor latente por presencia de personas(W/persona)	59
Incremento de calor por presencia de personas (Btu/persona)	250
Incremento de calor latente por presencia de personas (Btu/persona)	200
Densidad de carga de iluminación (W/ ft <sup>2</sup> )	1.00
Densidad de carga de equipos (W/ ft <sup>2</sup> )	1.00
Porcentaje radiante de equipos eléctricos	0.5
Moqueta (S/N)	S
Tipo de acondicionamiento	Calentado y enfriado
L/s de aire exterior por persona	7.5
Flujo de aire exterior por área (m <sup>3</sup> /h/ m <sup>2</sup> )	3.7
Hora de apertura	
Hora de cierre	
Posición de ajuste de refrigeración sin ocupación (F)	85

**Figura 5.3**

*Tabla de parámetros elegidos para un edificio de tipo vivienda unifamiliar (Revit 2020)*

Paso 4: Como siguiente paso se especificó el uso operativo planificado para el edificio, que por tratarse de una vivienda será un tipo de Instalación abierta 24 horas / 7 días de la semana durante todo el año. Las curvas de uso típica para los periodos de lunes a jueves, sábado y domingo se muestran en la figura 5.4.

### Instalación abierta 24 horas/7 días

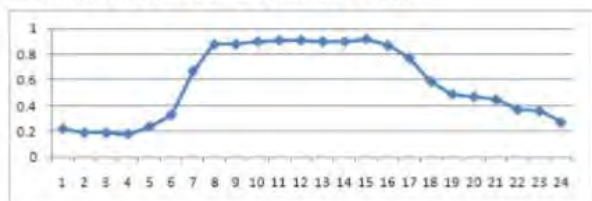


Tabla de planificación de instalación 24/7 - Entresemana

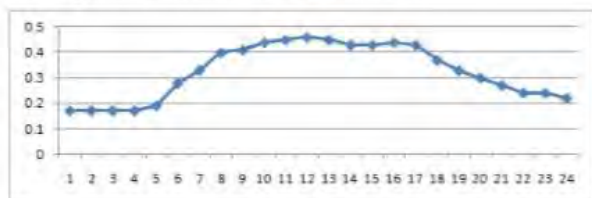


Tabla de planificación de instalación 24/7 - Sábado

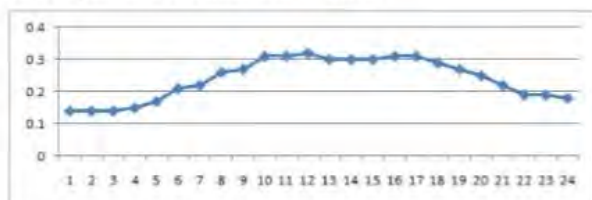
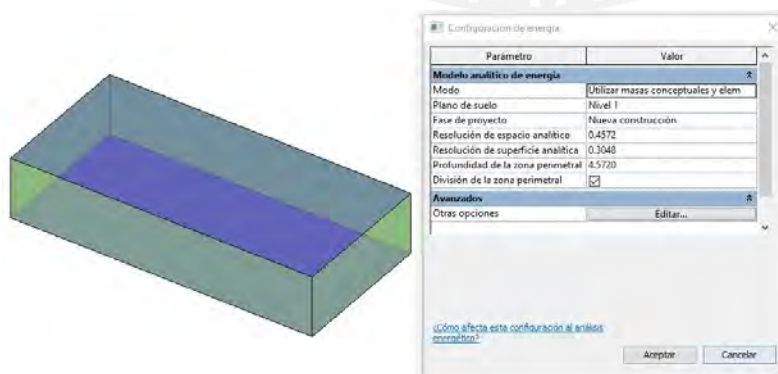


Tabla de planificación de instalación 24/7 - Domingo

### Figura 5.4

*Uso operativo planificado 24 horas / 7 días. (Revit 2020)*

Paso 5: Definición específica del edificio para este propósito utilizamos las opciones de configuración de energía que controlan el comportamiento de la creación del modelo energético. Asimismo, controlan el uso opcional de la información adicional que se especifica en el modelo de Revit, por ejemplo, propiedades generales y térmicas de los materiales.

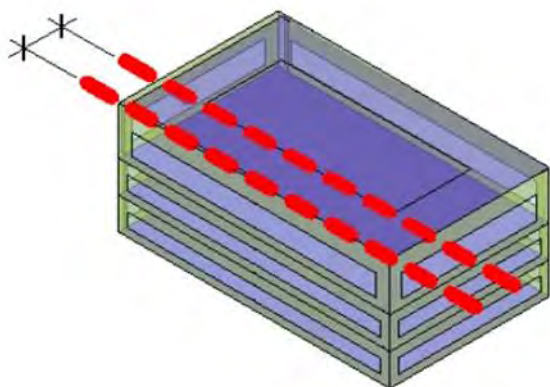


### Figura 5.5

*Definición de modelo analítico en Revit.*

**Profundidad de zona de perímetro** Es la distancia desde los muros exteriores hacia dentro para definir la zona de perímetro. El valor de esta opción siempre debe utilizarse junto con el de División de la zona perimetral. La razón de este concepto es que el núcleo de un edificio tiene cargas de calefacción y refrigeración que difieren del perímetro porque no está expuesto directamente a condiciones meteorológicas externas ni a luz diurna a través las ventanas. Una profundidad de zona de perímetro típica es 4-5 m (12-15 pies).

Definir la profundidad de zona de perímetro es una parte importante de la división automática por zonas térmicas, sobre todo en edificios con grandes plantas abiertas o en estudios de masa iniciales. (Revit 2017)



**Figura 5.6**

*Dibujo del concepto de profundidad de zona de perímetro (Revit)*

Definir las características y propiedades térmicas de los materiales de la envolvente en el modelo

Muro: Las caras exteriores del tabique o muro están conformadas por placas de Fibrocemento de espesor 8mm por ambos lados del conforman. Se ha considerado para el  $\lambda$  de fibrocemento el valor de 0.260 W/m<sup>2</sup>-K.

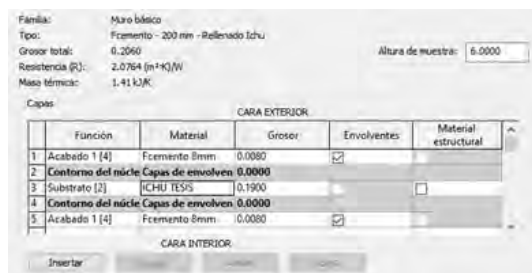
Como material aislante en el núcleo del muro se considera al Relleno de Ichu de densidad 32 kg/m<sup>3</sup> con 19 mm de espesor y  $\lambda$  promedio de relleno de Ichu  $< 5 = 0.0943$  W/m<sup>2</sup>-K datos obtenidos en el subcapítulo de evaluación de propiedades térmica.



Los datos se ingresaron al sistema Revit previamente fue necesario crear en la base de datos un tipo de muro con la configuración respectiva denominándolo Fibrocemento - 200 mm - Rellenado Ichu como se puede ver en la figura 5.7.

**Figura 5.7**

*Pantalla Revit “creación de tipo de muro”*



Como se aprecia en la figura 5.8 el sistema generó a partir de las características del tipo de muro, valores para las propiedades analíticas tales como la resistencia térmica (R) y la conductividad térmica (C) 0.4816 W/m<sup>2</sup>-K necesarias en los cálculos posteriores. Ambos valores se verificaron utilizando las ecuaciones 1.3 y 1.4 respetivamente.

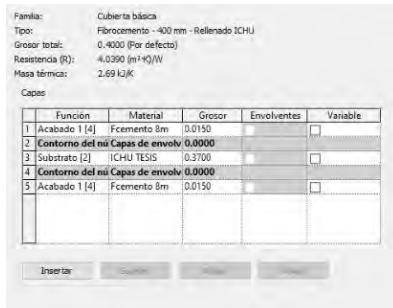


**Figura 5.8**

*Pantalla Revit “propiedades analíticas muro”.*

Techo: Las caras superior e inferior del techo están conformadas por una placa de Fibrocemento de espesor 15 mm por lado, esta característica difiere de la empleada en los muros por recomendación de uso del fabricante. Se ha considerado para el  $\lambda$  de fibrocemento el valor de 0.260 W/m<sup>2</sup>-K.

Los datos se ingresaron al sistema Revit previamente fue necesario crear en la base de datos un tipo de muro con la configuración respectiva denominándolo Fibrocemento - 400 mm - Rellenado Ichu como se puede ver en la figura 5.9.



**Figura 5.9**

*Pantalla Revit “creación de tipo de techo”.*

Como se aprecia en la figura 5.10 el sistema generó a partir de las características del tipo de techo, valores para las propiedades analíticas tales como la conductividad térmica (C) 0.2476 W/(m<sup>2</sup>-K) y la resistencia térmica(R) 4.0390 (m<sup>2</sup>-K) /W necesarias en los cálculos posteriores. Ambos valores se verificaron utilizando las ecuaciones (1.3 y 1.4).



**Figura 5.10**

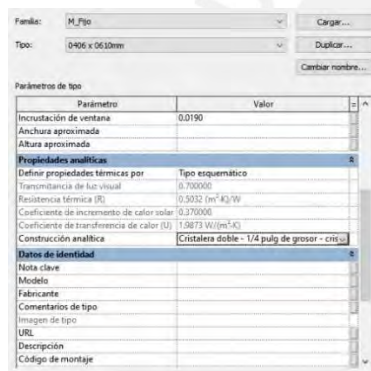
*Pantalla Revit “propiedades analíticas del techo”.*

Ventana: Las ventanas son parte importante de la envolvente y eso está contemplado por Revit en ocho widgets relacionados directamente con este componente del edificio teniendo en cuenta su orientación, tipo de vidrio y uso de sombras; pero antes

de poder hacer uso de las herramientas interactivas se caracterizó el tipo de ventana para los cálculos de la simulación.

En esta ocasión a diferencia de los casos anteriores de techos y muros se tuvieron que crear tipos nuevos de componentes con los valores de características obtenidas de los experimentos en laboratorio, se tomaron las alternativas que brinda la base de datos con la etiqueta de tipos esquemáticos que son componentes del edificio preconcebidos con características generales y térmicas suficientes para la generación del modelo energético.

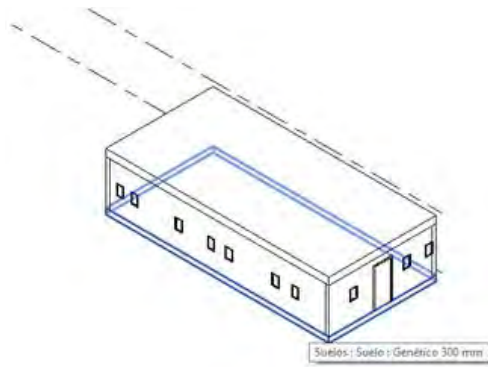
De entre las alternativas fue escogido un tipo de cristal doble con  $\frac{1}{4}$  de pulgada de espesor que es un tipo comercial con tendencia de uso en climas fríos. Sus propiedades analíticas tales como el coeficiente de transferencia de calor (C)  $1.9873 \text{ W}/(\text{m}^2\text{-K})$  y la resistencia térmica(R)  $0.5032 \text{ (m}^2\text{-K) }/\text{W}$ , se pueden observar en la figura 5.11.



**Figura 5.11**

*Pantalla Revit “propiedades analíticas de las ventanas”*

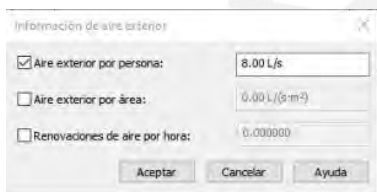
Suelo: El suelo fue caracterizado como uno existente en la base de datos del sistema, se trata de una losa genérica de concreto de 300mm de alto



**Figura 5.12**

*Pantalla Revit “Caracterización del suelo”.*

Velocidad de aire de recambio y sistema de climatización

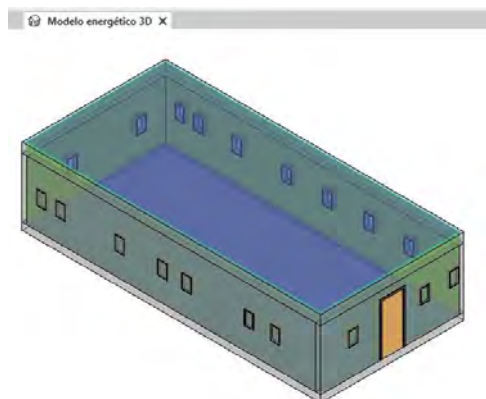


**Figura 5.13**

*Pantalla Revit “Velocidad del aire de recambio”.*

Paso 6: Generar modelo analítico y enviar a calcular, con la generación de modelo analítico lo que se logró fue crear un modelo del edificio en REVIT como paso intermedio para que pueda ser entendido por los programas que después hacen la simulación energética.

En la figura 5.14 podemos apreciar la imagen del modelo analítico ya creado



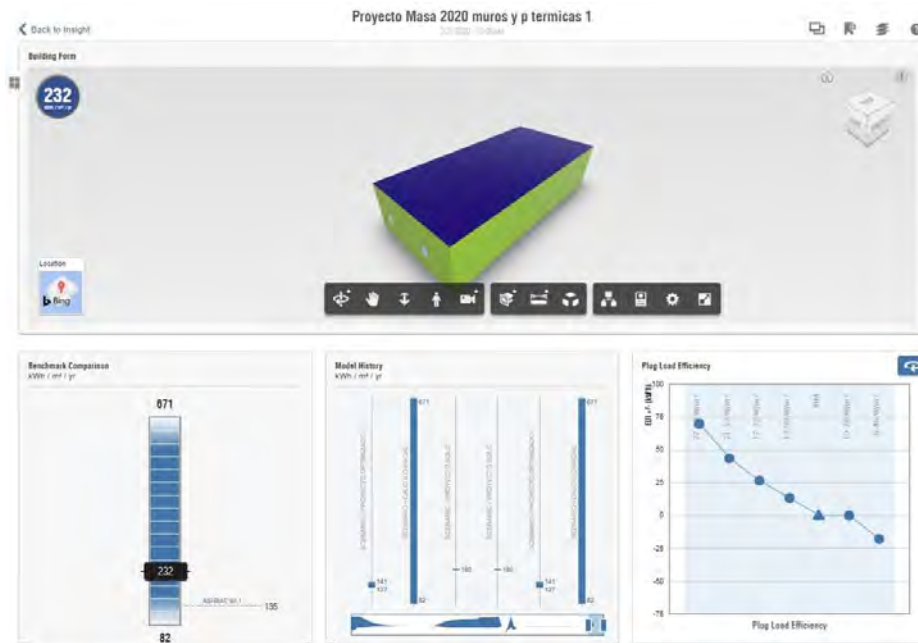
**Figura 5.14**

*Modelo analítico creado*

Para calcular la simulación Revit utiliza dos programas de calculo que son el DOE2 y EnergyPlus. Ambos han sido desarrollados y promovidos por el Departamento de Energía de los Estados Unidos de Norteamérica que es un ente que es un ente gubernamental; gozan de mucho prestigio entre expertos en simulación energética de edificios y han sido ampliamente validados y aprobados por la exactitud de sus cálculos (Crawley et al., 2001). Por lo mismo Autodesk no desarrollo su propio método de cálculo, sino que aprovecha estos dos programas existentes.

Este proceso de cálculo se ejecutó en los servidores de Revit porque incluye en el análisis no sólo nuestro caso de estudio sino muchas variantes diferentes iterando varios parámetros para ver cómo se comporta el edificio modelado, en muchas condiciones y de ese modo colabora en la toma de decisiones de diseño.

En la figura 5.15 se exhibe la pantalla resultante de la simulación en servidor de Revit.



**Figura 5.15**

*Proyecto de simulación Insight.*

Los resultados incluyen los siguientes apartados:

Comparación de referencia (Benchmark comparison) Aquí se presenta el consumo energético no solo del edificio que fue enviado a calcular, sino de unos 200 casos más o menos, basado en el edificio propuesto, pero cambiando diferentes factores que pueden afectar a su consumo energético. Los datos en esta comparación se muestran en EUI Energy Use Intensity que es la intensidad del uso de la energía máxima, media y mínima.

La unidad kilovatios hora / metro cuadrado / año. quiere decir Kilovatios hora por unidad de superficie del edificio. Es decir, no brinda la energía total que consume el edificio, sino por cada unidad de metro cuadrado. Este modo será útil para comparar con otro edificio y tener orden de magnitud.

Historial del Modelo (Model History) Muestra todos los cambios realizados con las herramientas interactivas en una línea de tiempo.

Herramientas Interactivas (Widgets) Son 24 herramientas interactivas que facilitan la manipulación de variables en el modelo a continuación la lista con una breve reseña, los rangos y detalle de los mismos se encuentran en el apéndice 5.

- BUILDING ORIENTATION Orientación del edificio.
- WWR – SOUTHERN WALLS (Windows to Wall Ratio) Ratio de Ventana respecto muro.
- WWR – NORTHERN WALLS (Windows to Wall Ratio) Igual que el anterior con las fachadas de orientación norte.
- WWR – WESTERN WALLS (Windows to Wall Ratio) Igual que el anterior con las fachadas de orientación oeste.
- WWR – EASTERN WALLS (Windows to Wall Ratio) Igual que el anterior con las fachadas de orientación este.
- WINDOW SHADES – SOUTH Sombras en las ventanas de orientación sur. Se puede tener un efecto beneficioso en climas cálidos, pero en invierno o en climas fríos pueden hacer que se incremente el consumo energético por calefacción.
- WINDOW SHADES – NORTH Igual que el anterior con las fachadas de orientación norte. En el hemisferio norte, este factor normalmente no varía el consumo energético puesto que en la orientación norte no da el Sol. Todo lo contrario, ocurre en el hemisferio sur.
- WINDOW SHADES – WEST Igual que el anterior con las fachadas de orientación oeste.
- WINDOW SHADES – EAST Igual que el anterior con las fachadas de orientación este.
- WINDOW GLASS – SOUTH Propiedades de las ventanas con orientación sur. Se incluyen U-Value ( $W/m^2K$ ) es el coeficiente de transferencia de calor, SHGC es el factor de sombra y VLT es la transmisión de luz visible.
- WINDOW GLASS – NORTH Igual que el anterior con las fachadas de orientación norte.

- WINDOW GLASS – WEST Igual que el anterior con las fachadas de orientación oeste.
- WINDOW GLASS – EAST Igual que el anterior con las fachadas de orientación este.
- WALL CONSTRUCTION Materiales que forman los muros exteriores (fachadas). Se incluyen U-Value( $W/m^2K$ ) es el coeficiente de transferencia de calor y capacidad calorífica ( $Kj/m^2K$ )
- ROOF CONSTRUCTION Materiales que forman la cubierta o techo. Se incluyen U-Value( $W/m^2K$ ) es el coeficiente de transferencia de calor y capacidad calorífica ( $KJ/m^2K$ )
- INFILTRATION Corresponde a la entrada de aire exterior en los espacios acondicionados de forma no intencionada debido normalmente a aberturas en el cerramiento exterior del edificio. No se considera infiltración la ventilación que se realiza para mantener una calidad de aire interior adecuada.
- LIGHTING EFFICIENCY Rendimiento de la iluminación. Representa la ganancia de calor en las habitaciones y el consumo de energía eléctrica debido a la iluminación artificial. Se mide en potencia (Wattios) por unidad de superficie ( $m^2$ ).
- DAYLIGHTING & OCCUPANCY CONTROLS Representa la reducción de iluminación artificial con sensores de detección de iluminación natural y de ocupación.
- PLUG LOAD EFFICIENCY Representa la potencia eléctrica usada por equipos como ordenadores, impresoras u pequeños electrodomésticos. No incluye iluminación ni climatización. Se mide en potencia (Wattios) por unidad de superficie ( $m^2$ ).
- HVAC Representa a los equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado.
- OPERATING SCHEDULE Representa la planificación de la ocupación, que son las horas que el edificio está ocupado.



- PV – PANEL EFFICIENCY Es el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, es decir, el porcentaje de energía solar que se convierte en energía eléctrica. Los paneles de mayor rendimiento tienen un coste superior, por lo que es posible que la mayor producción de electricidad no compense este sobrecoste.
- PV – PAYBACK LIMIT Representa el periodo de retorno de la inversión del proyecto de energía solar fotovoltaica, es decir, el número de años que se tarda en recuperar la inversión gracias a la energía eléctrica producida.
- PV – SURFACE COVERAGE Define el porcentaje de área de la cubierta que puede ser usada por paneles fotovoltaicos.

Interpretación y comparativa de resultados de los escenarios propuestos. En esta etapa por condiciones del software se propusieron tres escenarios que fueron interpretados y comparados en sus aspectos más importantes y concernientes al estudio realizado.

Escenario 1: Calculo Base es el resultado original obtenido con el modelo diseñado en Revit.

Escenario 2: Proyecto Tesis Original, utilizando las herramientas interactivas (widgets) se obtiene este escenario que muestra el consumo energético del Proyecto de Tesis de manera independiente al tomarlo en cuenta como caso único.

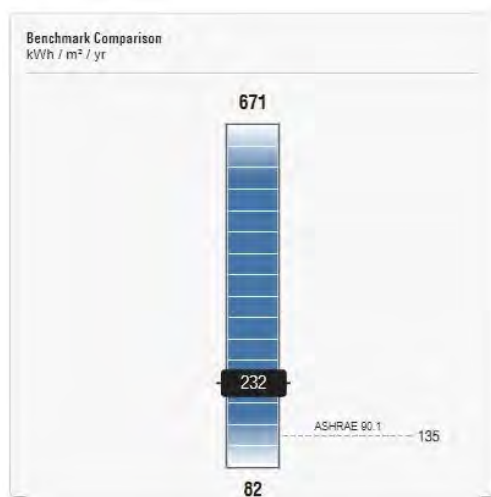
Escenario 3: Proyecto Tesis Optimizado, nuevamente utilizando los widgets y teniendo como referencia el estándar ASHRAE 90.1 se aplican una serie de mejoras para demostrar que es factible lograr un proyecto dentro de los parámetros de la eficiencia energética.

Cabe resaltar que en los 3 escenarios se mantienen fijos los valores del material en muros y techos de la envolvente por ser el objeto de estudio de evaluación del presente análisis.

### Resultados Escenario 1

Como ya se ha mencionado anteriormente, al enviar a calcular el modelo energético lo que realmente está haciendo el programa es calculando el comportamiento de 200 casos diferentes iterando todos parámetros ingresados.

De este análisis se generó la gráfica mostrada en la figura 5.16, que representa el caso mejor de todos los aproximadamente 200 que ha analizado y que obtuvo un resultado de 82 kilovatios hora por m<sup>2</sup>. También muestra el peor de todos los casos con todas las combinaciones más malas con el valor de 671 kilovatios hora por m<sup>2</sup>. Como es parte de la etapa inicial del cálculo, se encontró un grado de variación muy amplio. También se muestra que la media de todos los casos son 232 kilovatios hora por m<sup>2</sup>.



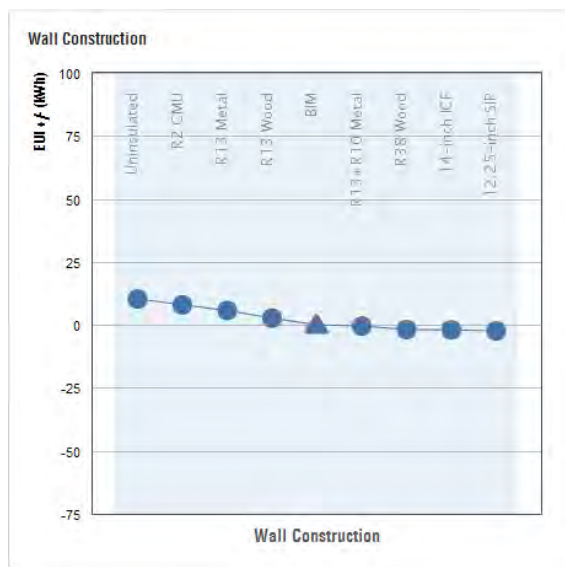
**Figura 5.16**  
*Benchmark Comparison Escenario 1*

El otro dato importante en este gráfico es el valor 135 kilovatios hora por m<sup>2</sup> del estándar ASHRAE 90.1 el cual permite considerar un proyecto de estas características como eficiente energéticamente.

A continuación, se presentan los Widgets relacionados con los Materiales en la envolvente del edificio es decir muros y techos que están conformados por los materiales objeto de estudio. Estos valores se mantienen constantes para todos los escenarios debido a que se está evaluando que las características ingresadas en el diseño original el edificio pueda ser considerado eficiente energéticamente.

Muros (Wall Construction). El valor de consumo energético alcanzado por los datos ingresados en el modelo energético coloca al muro de nuestro estudio en un nivel

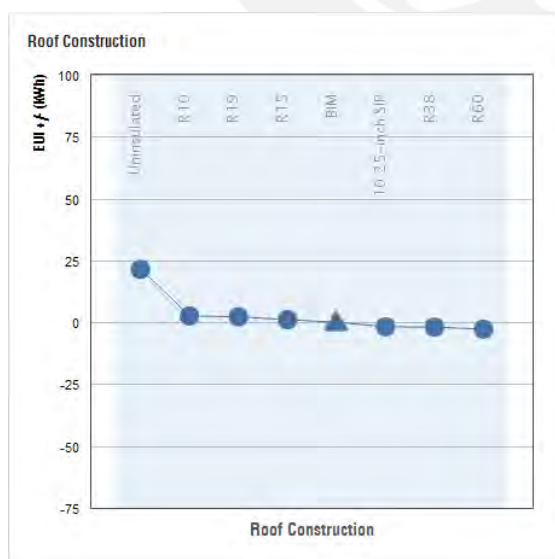
de eficiencia similar a la del tabique típico ASHRAE 90.1 R13 Wood que se describe como un tabique aislante con marcos de madera y aislante de lana de vidrio. Esto se puede apreciar en la figura 5.17.



**Figura 5.17**

*Wall Construction Escenario 1.*

Techos (Roof Construction). El valor de consumo energético alcanzado por los datos ingresados en el modelo energético ubica al techo de nuestro estudio en un nivel de eficiencia similar a la del techo térmicamente aislado típico ASHRAE 90.1 R15. Esto se puede apreciar en la figura 5.18.

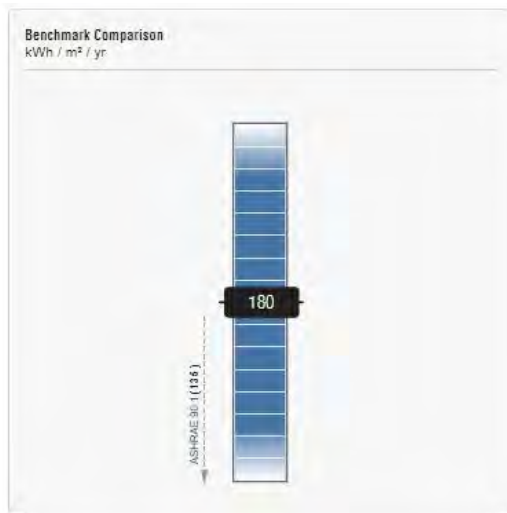


**Figura 5.18**

*Roof Construction Escenario 1.*

### Escenario 2

En este escenario como se describió se obtiene el valor de consumo energético del proyecto original ingresado en Revit, se consigue anulando todas las demás opciones haciendo que la media sea el valor de un único edificio que es el previamente generado para el estudio con Revit.



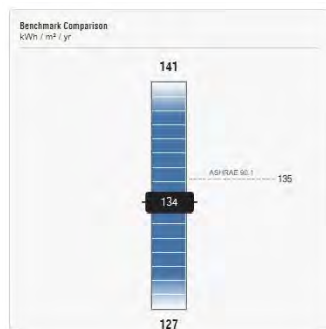
**Figura 5.19**

*Benchmark Comparison escenario 2.*

Entonces el resultado de los cálculos para el proyecto es de 180 kilovatios hora por m<sup>2</sup>, valor que se encuentra por encima del de referencia ASHRAE 90.1 significando que puede ser optimizado.

### Escenario 3

Este escenario corresponde al del proyecto optimizado, con un valor de 134 KWh/m<sup>2</sup>/año como se puede evidenciar en la figura 3.69 que muestra el grafico de la comparación de referencia.



**Figura 5.20**

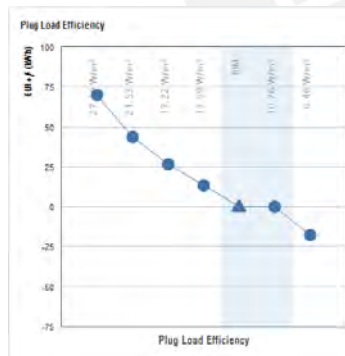
*Benchmark Comparison escenario 3.*

Fueron 3 parámetros los que debieron ajustarse con los Widgets para alcanzar el estándar ASHRAE 90.1 y seguidamente se detallan en orden de importancia.

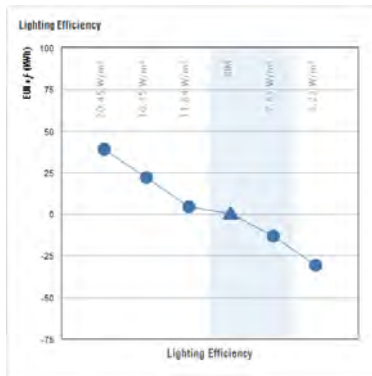
La potencia eléctrica usada por equipos electrodomésticos sin incluir iluminación y/o climatización fue la medida de mayor importancia para ajustar el consumo energético del modelo en el escenario 3, sus valores se llevaron al inmediato inferior es decir 10.76 W/m<sup>2</sup> como se muestra en la figura 5.21.

**Figura 5.21**

*Plug load efficiency escenario 3. (Elaboración propia)*



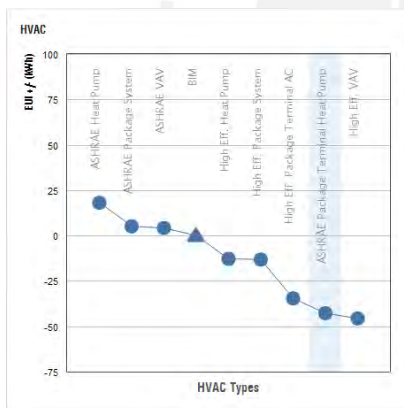
La eficiencia en iluminación es la siguiente en importancia al igual que el caso anterior se ajustó al valor inferior inmediato que para el caso es 7.53 W/m<sup>2</sup> como se puede apreciar en la figura 5.22.



**Figura 5.22**

*Lightning efficiency escenario 3.*

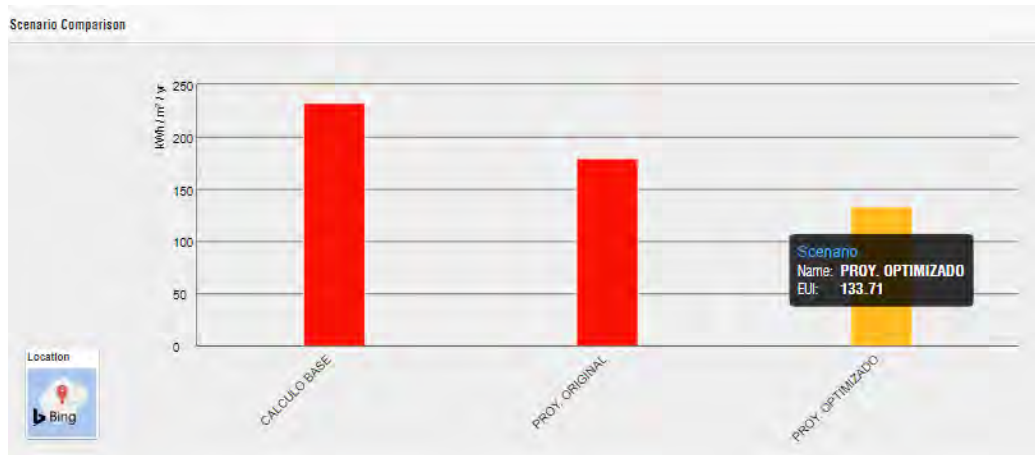
El último ajuste se efectuó en el tipo de equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado estableciendo lo en el ítem Bombas de calor instaladas directamente en el espacio que acondiciona con rendimiento de 11.9 EER o su equivalente 3.49 COP como mínimo. Este paso se puede ver en la figura 5.23.



**Figura 5.23**

*HVAC Types escenario 3.*

Finalmente, y como resumen se obtiene del propio programa Insight una gráfica comparativa entre los valores resultantes de cada escenario, es una gráfica de barras con los valores de consumo energético en las abscisas ver figura 5.24. Adicionalmente acompañamos a la gráfica con la tabla 3.36 y el detalle de los resultados.



**Figura 5.24**

*Comparación de escenarios simulados.*

**Tabla 5.1**

*Resultado por escenario.*

Escenario (n)	Nombre	Consumo (Kwh/m2/año)
1	Calculo Base	232.21
2	Proyecto Original	179.54
3	Proyecto Optimizado	133.71

## CAPÍTULO VI- EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PRODUCTO

En el capítulo dedicado a fundamentos y contexto de la investigación se incluyó información que revisaba y comparaba sistemas constructivos en varias dimensiones, incluyendo la económica, sus resultados evidenciaron la superioridad del sistema de construcción en seco sobre las demás opciones.

Menores costos constructivos, aunados a su excelente comportamiento sismo resistente, reducción de tiempos de construcción, mayor eficiencia energética, resistencia al fuego y ser aceptado por la Norma Peruana (Ministerio de Vivienda, 2017), lo que hace factible su uso, lo hacen destacar del resto de alternativas constructivas sobre todo en el espectro de viviendas unifamiliares en zonas rurales que son las que aplican a nuestro objeto de estudio.

El sistema constructivo en seco no está completo si no tiene en cuenta el aspecto de aislamiento térmico imprescindible para la climatización adecuada y la eficiencia energética de la vivienda. El material considerado para este propósito generalmente es la lana de vidrio, un material importado que comercialmente se encuentra distribuida en casi todas las ciudades del país en forma de rollos y categorizada por densidad y espesor.

Como se aprecia en la tabla 6.1 los precios oscilan entre S/.6.40 y S/.7.95 por m<sup>2</sup>, se compararon 3 precios de distintas fuentes con las mismas características y se consiguió el valor promedio de S/.105.59 sin incluir IGV para un rollo al año 2022, cuyas características son 14.4 m<sup>2</sup> de área total, espesor 50mm y densidad 12 Kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 6.1**

*Estimación de costo de lana de vidrio*

Proveedor	Precio sin IGV (rollo)	Precio sin IGV M <sup>2</sup>
1	S/. 114.49	S/. 7.95
2	S/. 110.12	S/. 7.64
3	S/. 92.16	S/. 6.40
<b>Promedio</b>	S/. 105.59	S/. 7.33



El proceso de cálculo del costo de producción de una unidad de Ichu conglomerado podría abordarse desde un punto de vista de producto artesanal considerando los materiales como de la naturaleza y la mano de obra labor comunitaria de modo que se mantendría como una opción de autoconstrucción con las obvias ventajas económicas.

Pero debido a la demanda de vivienda en zonas alto andinas, y la posibilidad de inversión social; se esbozó un perfil económico con baja inversión de capital inicial que aprovechando las ventajas de cercanía a las de materias primas y la población objetivo, pudiera producir conglomerado de ichu superando económicamente a la propuesta comercial de la lana de vidrio y la vez promover así soluciones integrales y más efectivas para el problema de envoltentes de viviendas ineficientes en climas fríos del país.

Esta propuesta de micro industrialización es necesaria para estandarizar el producto, brindarle calidad, obtener un precio de volumen competitivo, poder satisfacer la demanda y además generar desarrollo a la zona.

El punto de partida fue la elaboración de un DOP (Ver apéndice 6) para la fabricación de conglomerado de Ichu donde se evidencia la importancia de la operación corte y la necesidad de su mecanización. El costo de la maquina principal nos permite estimar mediante la tabla de Factores de Lang, modificados por Peters y Timmerhaus (Robles & Sandoval, 1999), la inversión inicial y el Capital de trabajo. El ciclo de vida de la propuesta es de 5 años y la inversión financiada al 100% es devuelta en cuotas iguales cada año con una tasa de interés de 14% (Ver apéndice 6).

**Tabla 6.2**

*Estimación de inversión inicial (Elaboración propia)*

Maquina principal		S/.	40,000.00
Por Peters y Timmerhaus	<b>Factor</b>	<b>Monto</b>	
Inversión Inicial (solidos)	3.87	S/.	154,800.00
Capital de trabajo	0.68	S/.	27,200.00
<b>Total</b>	<b>4.55</b>	<b>S/.</b>	<b>182,000.00</b>

Los costos se resumen en la siguiente tabla 6.3.

**Tabla 6.3**

*Análisis de costos del conglomerado de Ichu*

Costos de MP	S/.	0.41	por KG
Ichu	S/.	0.23	por KG
Insumos	S/.	0.18	por KG
Costo de MO Directa	S/.	94,800.00	por año
Costos indirectos de fabricación	S/.	78,000.00	por año
Gastos administrativos y de ventas	S/.	125,952.00	por año
Depreciación Maquina (5 años)	S/.	-	
Pago de financiación Inversión Inicial (5 años, 14%)	S/.	49,988.16	por año

La producción anual  $855 \text{ kg/día} \times 300 \text{ días} = 256\,500 \text{ Kg}$  por año de Ichu conglomerado.

El costo unitario de kg de ichu en un año:

$$((\text{CMOD} + \text{CIF} + \text{GAYV} + \text{PII}) \text{ anual} / \text{Producción anual}) + \text{CMP}$$

$$((\text{S/}.\,94\,800 + \text{S/}.\,78\,000 + \text{S/}.\,125\,952 + \text{S/}.\,49\,988) / 256\,500) + \text{S/}.\,0.41$$

$$= \text{S/}.\,1.77 \text{ por kg. de Ichu conglomerado.}$$

El espesor equivalente del ichu conglomerado respecto a la lana de vidrio fue calculado en el capítulo de resultados obteniéndose el valor de 0.084m además la densidad del Ichu en los ensayos determinantes fue 35.5 Kg/m<sup>3</sup>. Con esta información se pudo calcular que 1m<sup>2</sup> de Ichu equivalente a Lana de vidrio es decir con la misma resistencia térmica requiere de 2.98 kg de material. Este último resultado se redondeó a 3Kg. El costo comparable es  $3 \text{ kg/m}^2 \times \text{S/}.\,1.77 \text{ por Kg} = \text{S/}.\,5.31 \text{ por m}^2$ .

**Tabla 6.4**

Comparación Precio del m<sup>2</sup> de lana de vidrio vs Ichu conglomerado

Artículo	Costo/m <sup>2</sup>
Lana de vidrio	S/.\, 7.33

Ichu < 5	S/.	5.31
<b>Diferencia</b>	S/.	2.02

En la tabla 6.4 se compararon los resultados de la evaluación económica entre las opciones de compra de lana de vidrio y la de producción de conglomerado de ichu. El resultado fue favorable al uso de Ichu con un ahorro estimado de S/2.02 por m<sup>2</sup>.



## CONCLUSIONES

En el marco teórico se hizo una revisión comparada de varias alternativas de sistemas constructivos concluyéndose que la mejor opción para la confección de módulos de vivienda unifamiliares en zonas de heladas y friaje en términos de estabilidad sísmo resistente, rapidez, eficiencia energética, resistencia al fuego y reconocimiento por la Norma Peruana como un sistema seguro era la de construcción en seco también conocido como sistema drywall.

Los primeros ensayos realizados fueron de tipo referencial en ellos se comparó la longitud de fibra de ichu; el menor largo de los haces de ichu contribuye a un mejor arreglo entre ellos y mejora el aprovechamiento de los espacios facilitando el incremento de masa y densidad de los especímenes. Luego en el rango característico de las pruebas llevadas a cabo se encontró que la relación entre la densidad del material aislante de ichu y su  $\lambda$  conductividad térmica es inversa es decir a mayor masa de ichu menor tasa de transferencia de calor por unidad de tiempo. Para reforzar esta información se hizo una prueba referencial con densidad de Ichu cero (sin aislante) aumentando la conductividad a 0.3228 W/m.K. Finalmente para descartar la influencia de un puente térmico, se reemplazó la estructura metálica de 0.045 mm de espesor por madera de 2cm de espesor aumentando el valor de la conductividad a 0.3770 W/m.K.

Se ejecutó un procedimiento de ensayos en laboratorio que permitió determinar la cualidad de aislante térmico del material compuesto por fibrocemento y conglomerado de fibra de ichu; fueron un total de 45 ensayos que arrojaron el valor promedio de conductividad térmica  $\lambda = 0.1078$  W/m.K con una precisión de +/- 5%. Del mismo modo se realizaron 45 ensayos para los especímenes con lana de vidrio como aislante obteniéndose el valor promedio de conductividad térmica  $\lambda = 0.0848$  W/m.K. La diferencia entre ambos materiales es factible de ser reducida mediante el aumento de la densidad, además variando el valor del espesor de muro es posible igualar las R resistencias térmicas, logrando una equivalencia funcional de operación que se utilizó también para facilitar la comparación en otros aspectos.

El perfil medioambiental del conglomerado de Ichu se evaluó a lo largo del ciclo de vida en los impactos de agotamiento de recursos, acidificación, eutrofización, cambio climático, destrucción de la capa de ozono, formación de oxidantes fotoquímicos, siendo

en todos los casos mucha mejor opción que la lana de vidrio. La mayor influencia en este resultado fue su condición de material natural de la zona, proceso de fabricación mayormente mecánico y bajo consumo de agua. La evaluación de la eficiencia energética del material obligo a un modelamiento y simulación utilizando el software Insight de Autodesk. Los resultados demostraron el comportamiento eficiente de la propuesta en comparación con un estándar ASHRAE 90.1 que proporciona la simulación.

Finalmente, en base a los resultados del estudio que tuvo en cuenta las características del sistema constructivo, los valores de conductividad térmica, las evaluaciones de impacto ambiental, eficiencia energética y perfil de proyecto económico, puede ser afirmado que es recomendable la incorporación de la fibra natural Ichu como material aislante térmico de relleno al sistema constructivo drywall para reducir la transferencia de calor en la envolvente de viviendas ubicadas en zonas climáticas del Perú afectadas por heladas.



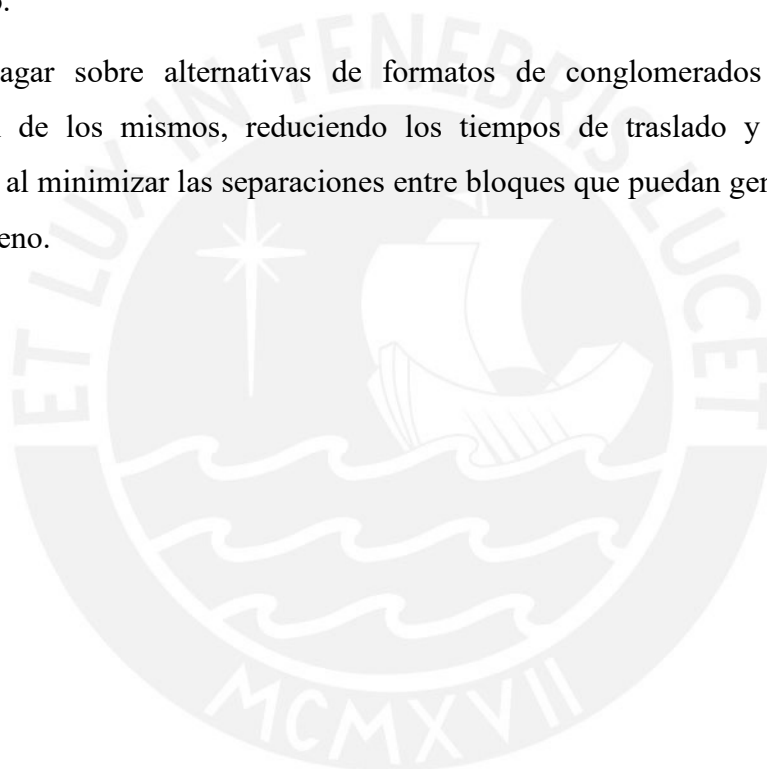
## RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en cuenta para proyectar el diseño de muros con relleno de Ichu las relaciones de equivalencia funcional planteados en el presente estudio.

Revisar el aspecto agrícola sostenible de los cultivos de Ichu antes de implementar cualquier sistema industrializado de producción.

Implementar un modelo de campo que permita corroborar los resultados de laboratorio.

Indagar sobre alternativas de formatos de conglomerados que faciliten la instalación de los mismos, reduciendo los tiempos de traslado y manteniendo las cualidades al minimizar las separaciones entre bloques que puedan generar espacios con menos relleno.



## BIBLIOGRAFÍA

- Alomá, E., & Malaver, M. (2007). Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y Teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica. *Enseñanza de Las Ciencias : Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 387–400.
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 4(2015), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2015.05.002>
- Camelo, F., & Rodriguez, S. (2008). *Una revisión histórica del concepto de calor: algunas implicaciones para su aprendizaje*. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/149/94>
- Carabaño, R. (2015). *Caracterización y análisis comparativo del comportamiento medioambiental de los materiales de aislamiento térmico utilizados en la envolvente del edificio, en función del sistema constructivo y de la situación geográfica* [E.T.S. Arquitectura (UPM)]. <https://doi.org/10.20868/UPM.THESIS.40885>
- Chang, M. (2014). “ Propuesta Y Evaluación De La Aplicación Del Sistema De Construcción Industrializada a Modular.” In *Tesis*.
- Charca, S., Noel, J., Andia, D., Flores, J., Guzman, A., Renteros, C., & Tumialan, J. (2015). Assessment of Ichu fibers as non-expensive thermal insulation system for the Andean regions. *Energy and Buildings*, 108, 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.053>
- Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., Strand, R. K., Liesen, R. J., Fisher, D. E., Witte, M. J., & Glazer, J. (2001). EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, 33(4), 319–331. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(00\)00114-6](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(00)00114-6)
- Deepa, K., Suryarajan, B., Nagaraj, V., Srinath, K., & Vasanth, K. (2019). ENERGY ANALYSIS OF BUILDINGS. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 1662. [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- Eschenhagen, A., Raj, M., Rodrigo, N., Zamora, A., Labonne, L., Evon, P., & Weleman, H. (2019). Investigation of Miscanthus and Sunflower Stalk Fiber-Reinforced

- Composites for Insulation Applications. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/9328087>
- Evon, P., Vinet, J., Rigal, M., Labonne, L., Vandebossche, V., & Rigal, L. (2015). New insulation fiberboards from sunflower cake with improved thermal and mechanical properties. *Journal of Agricultural Studies*, 3(2), 194. <https://doi.org/10.5296/jas.v3i2.7738>
- Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2014). Progress report on natural fiber reinforced composites. In *Macromolecular Materials and Engineering* (Vol. 299, Issue 1, pp. 9–26). <https://doi.org/10.1002/mame.201300008>
- Fernandez, C., & Corrochano, J. (2014). *Fundamentos de Transmision de Calor* (Dextra Editorial S.L. (ed.); 2da.).
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2019). *Encuesta Nacional de Hogares*. INEI. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda>
- Ministerio de Vivienda. (2017). *Resolución Ministerial N° 400-2017-Vivienda - Normas y documentos legales - Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento - Gobierno del Perú*. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/12020-400-2017-vivienda>
- Reglamento nacional de edificaciones, El Peruano 32047 (2006). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18359/rfcb.1303>
- Pacheco, L. (2016). Análisis Comparativo para Establecer la Diferencia de Costo y Tiempo de la Construcción de Paredes Interiores en una Edificación entre el sistema tradicional y el Sistema Drywall. In *Tesis*.
- Pedrosa, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro, J., & García-Cueto, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1), 245–254. <https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.UPSY13-5.PBAD>
- Robles, J. L. M., & Sandoval, E. L. (1999). Estimado del costo de inversión. *Ingeniería Industrial*, 0(023), 87. <https://doi.org/10.26439/ING.IND1999.N023.520>



- Saavedra, J. (2016). Análisis Comparativo de Tiempo y Costo de la Construcción de una Vivienda con el sistema Tradicional versus una Vivienda con el Sistema Drywall. In *Tesis*.
- SENAMHI. (2007). *Mapa Climático del Perú*. Ministerio Del Ambiente.  
<https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>
- SENAMHI. (2021). *CLIMAS DEL PERÚ-Mapa de Clasificación Climática Nacional*.  
<https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- SENAMHI, & FAO. (2010). *Atlas de helada del Perú*. 33.  
<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/359>
- SINAGERD. (2014). *Plan Multisectorial Ante Heladas Y Friaje 2019-2021*.  
[http://sgrd.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/PMAHF-2016\\_r.pdf](http://sgrd.pcm.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/PMAHF-2016_r.pdf)
- Viegas, G. M., Walsh, C., María, Y., & Barros, V. (2014). *Evaluación cuali-cuantitativa de aislaciones térmicas alternativas para viviendas. El caso de la agricultura familiar 1 Quantitative Evaluation of alternative thermal insulation. the case of family-based farming 1*.
- Wieser, M. (2008). Consideraciones bioclimáticas en el diseño arquitectónico: el caso Peruano. *Arquitectura y Ciudad.*, Cuadernos, 93.

**APÉNDICES**



## Apéndice 1

Numero de viviendas en provincias con Heladas por tipo de material predominante en las paredes exteriores

Departamento	Provincia	Total	Ladrillo o bloque de cemento	Adobe o tapia	Madera (pona, tornillo, etc.)	Quincha (caña con barro)	Estera	Piedra con barro	Piedra o sillar con cal o cemento	Otro material	
<b>Total</b>		1,742,624	529,085	814,339	227,229	20,639	26,097	72,000	28,234	25,001	1,213,539
Apurímac	<b>Total</b>	82,765	8,066	71,175	312	159	127	2,616	55	255	
	Abancay	25,439	4,016	20,877	156	85	39	141	17	108	
	Andahuaylas	35,330	3,823	30,454	120	58	55	709	16	95	
	Antabamba	3,789	29	2,920	2	3	11	811	3	10	
	Colabambas	11,224	107	10,400	21	4	19	639	15	19	
	Graú	6,983	91	6,524	13	9	3	316	4	23	
Arequipa	<b>Total</b>	248,508	179,412	18,932	1,077	2,605	7,956	10,160	25,475	2,891	
	Arequipa	207,097	170,610	3,419	704	1,295	2,625	1,443	24,810	2,191	
	Castilla	10,664	2,363	5,763	55	950	95	1,291	51	96	
	Caylloma	20,664	5,552	4,077	201	136	4,840	5,243	488	127	
	Condesuyos	5,412	754	2,417	112	214	375	969	114	457	
La Unión	4,671	133	3,256	5	10	21	1,214	12	20		
Ayacucho	<b>Total</b>	60,655	4,913	40,726	8,019	1,002	145	4,745	78	1,027	
	Cangallo	9,763	200	8,362	18	9	11	1,114	7	42	
	Huanta	22,713	2,499	13,192	4,656	426	57	1,378	39	466	
	La Mar	21,192	2,031	13,256	3,336	552	61	1,422	26	508	
	Paucar del Sara Sara	3,207	133	2,747	8	10	10	290	3	6	
	Sucre	3,780	50	3,169	1	5	6	541	3	5	
Cusco	<b>Total</b>	264,151	36,330	199,281	13,807	966	467	9,956	1,225	2,119	
	Acomayo	7,409	95	7,103	7	3	4	150	2	5	
	Anta	13,659	256	13,096	29	32	14	189	8	35	
	Canas	10,007	104	9,785	6	-	3	100	5	4	
	Canchis	26,133	2,330	22,931	32	5	15	750	25	45	
	Chumbivilcas	19,393	238	14,395	21	13	41	3,445	934	306	
	Cusco	88,337	27,009	60,140	316	130	41	228	138	335	
	Espinar	16,076	1,269	13,377	16	7	11	1,340	38	18	
	La Convención	44,022	4,184	24,924	11,825	750	286	824	38	1,191	
	Paruro	8,302	99	8,056	11	8	4	105	1	18	
	Paucartambo	11,311	247	8,400	1,112	9	28	1,436	14	65	
	Quispicanchi	19,502	499	17,074	432	9	20	1,349	22	97	
	Huanavelica	<b>Total</b>	71,808	4,921	59,982	270	220	173	5,785	125	332
		Castrovirreyña	5,978	133	4,777	16	49	40	780	3	180
		Huanavelica	33,548	4,183	26,530	92	27	44	2,491	105	76
Huaylará		6,777	135	5,309	24	39	32	1,181	7	50	
Tayacaja		25,505	470	23,366	138	105	57	1,333	10	26	
Huánuco	<b>Total</b>	74,312	14,459	34,477	22,168	722	223	922	67	1,274	
	Dos de Mayo	10,450	188	9,837	106	25	17	219	3	55	
	Huacabamba	4,433	33	4,207	129	8	2	54	-	-	
	Huamaldas	15,352	583	12,447	1,751	120	17	255	18	161	
	Lauricocha	7,866	85	7,376	12	8	13	340	1	31	
	Leoncio Prado	29,114	13,482	595	13,498	472	160	41	41	825	
	Puerto Inca	7,097	88	15	6,672	89	14	13	4	202	
	Junín	<b>Total</b>	146,189	42,647	48,211	40,097	8,894	356	1,228	208	4,548
		Chanchamayo	41,934	19,582	2,250	15,362	3,070	120	187	104	1,259
		Chupaca	12,330	2,894	9,263	21	3	6	99	10	34
Concepción		14,130	2,027	11,814	75	29	5	144	7	29	
Jauja		23,099	4,409	18,134	139	96	12	241	23	45	
Salpo		41,269	7,288	939	24,325	5,652	200	44	26	2,795	
Yauli		13,427	6,447	5,811	175	44	13	513	38	386	
Lima		<b>Total</b>	26,264	5,274	17,453	781	172	1,059	1,189	51	285
	Huachirí	18,458	4,924	11,046	760	67	93	467	37	226	
	Yauyos	7,806	350	6,407	21	105	128	722	14	59	
Loreto	<b>Total</b>	96,113	42,651	500	50,154	111	1,552	29	57	1,059	
	Maynas	96,113	42,651	500	50,154	111	1,552	29	57	1,059	
Madre de Dios	<b>Total</b>	26,516	8,541	155	16,484	71	66	7	70	1,122	
	Manu	4,749	464	23	3,694	29	23	1	13	502	
	Tahuamanu	2,662	558	28	2,025	4	2	2	6	37	
	Tambopata	19,105	7,519	104	10,765	38	41	4	51	583	
Moquegua	<b>Total</b>	30,552	11,657	13,683	534	398	3,017	988	50	225	
	General Sánchez Cerro	7,599	1,191	5,644	39	144	26	512	21	22	
	Mariscal Nieto	22,953	10,466	8,039	495	254	2,991	476	29	203	
Pasco	<b>Total</b>	53,798	17,867	18,866	13,718	759	115	937	150	1,386	
	Oxapampa	19,105	3,414	573	13,509	649	65	38	52	805	
Pasco	34,693	14,453	18,293	209	110	50	899	98	581		
Piura	<b>Total</b>	57,908	906	52,412	756	3,437	68	240	12	77	
	Ayabaca	29,322	487	27,123	205	1,336	46	97	10	18	
Huancabamba	28,586	419	25,289	551	2,101	22	143	2	59		
Puno	<b>Total</b>	353,838	79,390	229,548	4,076	343	549	32,641	408	6,883	
	Azángaro	37,761	1,787	34,147	27	10	25	1,661	12	92	
	Carabaya	19,221	582	10,904	1,892	26	76	5,164	17	560	
	Chucuito	33,100	4,070	27,029	15	7	32	1,859	28	60	
	El Collao	26,107	5,348	19,087	19	8	23	1,562	30	30	
	Huancané	22,288	746	20,179	8	2	26	1,238	16	73	
	Lampa	13,072	503	10,127	6	3	24	2,370	17	22	
	Melgar	19,992	1,549	15,870	33	7	31	2,366	11	125	
	Moho	9,402	86	8,531	9	3	8	746	6	13	
	Puno	66,374	24,519	38,092	51	42	44	3,090	79	457	
	San Antonio de Putina	15,253	946	5,344	278	12	75	3,882	93	4,623	
	San Román	59,029	35,743	22,849	46	43	13	198	34	103	
	Sandia	19,006	884	6,895	1,681	177	167	8,435	51	716	
	Yunguyo	13,233	2,627	10,494	11	3	5	70	14	9	
	Tacna	<b>Total</b>	77,080	57,319	8,376	473	517	9,156	512	102	625
		Candarave	2,810	406	2,071	26	32	15	231	7	22
		Tacna	71,553	56,730	3,935	437	462	9,137	162	95	595
		Tarata	2,717	183	2,370	10	23	4	119	-	8
	Ucayali	<b>Total</b>	72,167	14,732	562	54,503	263	1,068	45	101	893
Coronel Portillo		72,167	14,732	562	54,503	263	1,068	45	101	893	

## Apéndice 2



### Total de distritos priorizados en el marco del Plan Multisectorial ante Heladas y Frijes 2017 (PMAHYF 2017)

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	FENOMENO	POND_FINAL	PRIORI_PCM
APURIMAC	ABANCAY	CIRCA	heladas	3.0	SI
APURIMAC	ABANCAY	LAMBRAMA	heladas	3.1	SI
APURIMAC	ANDAHUAYLAS	PAMPACHIRI	heladas	2.7	SI
APURIMAC	ANDAHUAYLAS	SAN JERONIMO	heladas	3.1	SI
APURIMAC	ANTABAMBA	ANTABAMBA	heladas	3.3	SI
APURIMAC	ANTABAMBA	JUAN ESPINOZA MEDRANO	heladas	3.3	SI
APURIMAC	ANTABAMBA	OROPESA	heladas	3.1	SI
APURIMAC	ANTABAMBA	SABAINO	heladas	3.3	SI
APURIMAC	COTABAMBAS	TAMBOBAMBA	heladas	3.0	SI
APURIMAC	COTABAMBAS	COYLLURQUI	heladas	3.0	SI
APURIMAC	COTABAMBAS	HAQUIRA	heladas	4.0	SI
APURIMAC	COTABAMBAS	MARA	heladas	3.3	SI
APURIMAC	COTABAMBAS	CHALLHUAHUACHO	heladas	3.3	SI
APURIMAC	GRAU	HUAYLLATI	heladas	3.6	SI
APURIMAC	GRAU	MICAELA BASTIDAS	heladas	3.1	SI
APURIMAC	GRAU	PATAYPAMPA	heladas	3.9	SI
APURIMAC	GRAU	PROGRESO	heladas	3.3	SI
APURIMAC	GRAU	TURPAY	heladas	2.6	SI
AREQUIPA	AREQUIPA	SAN JUAN DE TARUCANI	heladas	3.9	SI
AREQUIPA	AREQUIPA	YURA	heladas	3.3	SI
AREQUIPA	CASTILLA	CHOCO	heladas	3.4	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	CALLALLI	heladas	3.3	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	CAYLLOMA	heladas	3.4	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	ICHUPAMPA	heladas	3.0	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	LARI	heladas	3.3	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	SAN ANTONIO DE CHUCA	heladas	4.0	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	SIBAYO	heladas	3.3	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	TAPAY	heladas	3.4	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	TISCO	heladas	3.4	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	TUTI	heladas	3.3	SI
AREQUIPA	CAYLLOMA	YANQUE	heladas	3.1	SI
AREQUIPA	CONDESUYOS	CAYARANI	heladas	3.9	SI
AREQUIPA	CONDESUYOS	SALAMANCA	heladas	3.0	SI
AREQUIPA	LA UNION	ALCA	heladas	3.3	SI
AREQUIPA	LA UNION	HUAYNACOTAS	heladas	3.3	SI
AREQUIPA	LA UNION	PUYCA	heladas	3.3	SI
AYACUCHO	CANGALLO	PARAS	heladas	3.3	SI
AYACUCHO	HUANTA	LLOCHEGUA	friaje	3.6	SI
AYACUCHO	HUANTA	CANAYRE	friaje	3.1	SI



AYACUCHO	LA MAR	AYNA	friaje	3.1	SI
AYACUCHO	PAUCAR DEL SARA SARA	PAUSA	heladas	1.4	SI
AYACUCHO	PAUCAR DEL SARA SARA	SARA SARA	heladas	2.0	SI
AYACUCHO	SUCRE	HUACAÑA	heladas	3.1	SI
AYACUCHO	SUCRE	MORCOLLA	heladas	3.1	SI
CUSCO	CUSCO	CCORCA	heladas	3.1	SI
CUSCO	ACOMAYO	ACOPIA	heladas	3.4	SI
CUSCO	ACOMAYO	SANGARARA	heladas	3.4	SI
CUSCO	ANTA	HUAROCONDO	heladas	3.1	SI
CUSCO	CANAS	YANAQCA	heladas	3.1	SI
CUSCO	CANAS	CHECCA	heladas	3.3	SI
CUSCO	CANAS	KUNTURKANKI	heladas	3.3	SI
CUSCO	CANAS	LANGUI	heladas	3.4	SI
CUSCO	CANAS	LAYO	heladas	3.9	SI
CUSCO	CANAS	PAMPAMARCA	heladas	3.7	SI
CUSCO	CANAS	QUEHUE	heladas	3.4	SI
CUSCO	CANAS	TUPAC AMARU	heladas	3.3	SI
CUSCO	CANCHIS	SICUANI	heladas	3.7	SI
CUSCO	CANCHIS	COMBAPATA	heladas	3.6	SI
CUSCO	CANCHIS	MARANGANI	heladas	3.4	SI
CUSCO	CANCHIS	PITUMARCA	heladas	3.3	SI
CUSCO	CHUMBIVILCAS	SANTO TOMAS	heladas	3.6	SI
CUSCO	CHUMBIVILCAS	CAPACMARCA	heladas	3.3	SI
CUSCO	CHUMBIVILCAS	CHAMACA	heladas	3.3	SI
CUSCO	CHUMBIVILCAS	COLQUEMARCA	heladas	3.3	SI
CUSCO	CHUMBIVILCAS	LIVITACA	heladas	3.3	SI
CUSCO	CHUMBIVILCAS	LLUSCO	heladas	3.3	SI
CUSCO	CHUMBIVILCAS	QUIÑOTA	heladas	4.0	SI
CUSCO	CHUMBIVILCAS	VELILLE	heladas	3.3	SI
CUSCO	ESPINAR	ESPINAR	heladas	2.7	SI
CUSCO	ESPINAR	CONDOROMA	heladas	3.4	SI
CUSCO	ESPINAR	COPORAQUE	heladas	3.3	SI
CUSCO	ESPINAR	OCORURO	heladas	3.4	SI
CUSCO	ESPINAR	PALLPATA	heladas	3.4	SI
CUSCO	ESPINAR	PICHIGUA	heladas	3.3	SI
CUSCO	ESPINAR	SUYCKUTAMBO	heladas	3.9	SI
CUSCO	ESPINAR	ALTO PICHIGUA	heladas	3.3	SI
CUSCO	LA CONVENCION	SANTA ANA	friaje	3.5	SI
CUSCO	LA CONVENCION	ECHARATE	friaje	3.5	SI
CUSCO	LA CONVENCION	MARANURA	friaje	3.3	SI
CUSCO	LA CONVENCION	OCOBAMBA	friaje	3.3	SI
CUSCO	LA CONVENCION	QUELLOUNO	friaje	3.3	SI
CUSCO	LA CONVENCION	MEGANTONI	friaje	3.2	SI
CUSCO	PARURO	PARURO	heladas	3.7	SI



CUSCO	PARURO	COLCHA	heladas	2.9	SI
CUSCO	PARURO	HUANOQUITE	heladas	3.3	SI
CUSCO	PAUCARTAMBO	KOSÑIPATA	friaje	3.1	SI
CUSCO	QUISPICANCHI	CCARHUAYO	heladas	3.3	SI
CUSCO	QUISPICANCHI	MARCAPATA	heladas	3.9	SI
CUSCO	QUISPICANCHI	QCONGATE	heladas	3.0	SI
CUSCO	QUISPICANCHI	QUIQUIJANA	heladas	3.6	SI
HUANCAVELICA	HUANCAVELICA	HUACHOCOLPA	heladas	3.3	SI
HUANCAVELICA	HUANCAVELICA	PILCHACA	heladas	3.1	SI
HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	CASTROVIRREYNA	heladas	3.3	SI
HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	ARMA	heladas	3.6	SI
HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	COCAS	heladas	3.3	SI
HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	MOLLEPAMPA	heladas	3.3	SI
HUANCAVELICA	CASTROVIRREYNA	SANTA ANA	heladas	3.1	SI
HUANCAVELICA	HUAYTARA	HUAYTARA	heladas	2.4	SI
HUANCAVELICA	HUAYTARA	PILPICHACA	heladas	3.3	SI
HUANCAVELICA	HUAYTARA	SAN ANTONIO DE CUSICANCHA	heladas	3.3	SI
HUANCAVELICA	TAYACAJA	PAMPAS	heladas	3.2	SI
HUANCAVELICA	TAYACAJA	ÑAHUIMPUQUID	heladas	3.1	SI
HUANCAVELICA	TAYACAJA	QUICHUAS	heladas	3.6	SI
HUANUCO	DOS DE MAYO	CHUQUIS	heladas	3.0	SI
HUANUCO	HUACAYBAMBA	CANCHABAMBA	heladas	3.0	SI
HUANUCO	HUAMALIES	PUÑOS	heladas	3.0	SI
HUANUCO	LEONCIO PRADO	RUPA-RUPA	friaje	3.4	SI
HUANUCO	LEONCIO PRADO	DANIEL ALOMIA ROBLES	friaje	3.4	SI
HUANUCO	LEONCIO PRADO	HERMILIO VALDIZAN	friaje	3.4	SI
HUANUCO	LEONCIO PRADO	LUYANDO	friaje	3.1	SI
HUANUCO	LEONCIO PRADO	MARIANO DAMASO BERALUN	friaje	3.1	SI
HUANUCO	LEONCIO PRADO	CASTILLO GRANDE	friaje	3.3	SI
HUANUCO	PUERTO INCA	CODO DEL POZUZO	friaje	3.7	SI
HUANUCO	LAURICOCHA	JESUS	heladas	2.7	SI
HUANUCO	LAURICOCHA	SAN MIGUEL DE CAURI	heladas	3.3	SI
JUNIN	CONCEPCION	HEROINAS TOLEDO	heladas	3.1	SI
JUNIN	CHANCHAMAYO	SAN LUIS DE SHUARO	friaje	3.1	SI
JUNIN	CHANCHAMAYO	VITOC	friaje	3.1	SI
JUNIN	JAUJA	MONOBAMBA	friaje	3.1	SI
JUNIN	SATIPO	PAMPA HERMOSA	friaje	3.1	SI
JUNIN	YAULI	HUAY-HUAY	heladas	3.1	SI
JUNIN	YAULI	MARCAPOMACOCCHA	heladas	3.4	SI
JUNIN	YAULI	SUITUCANCHA	heladas	3.7	SI
JUNIN	CHUPACA	YANACANCHA	heladas	3.1	SI
LIMA	HUAROCHIRI	HUANZA	heladas	3.1	SI
LIMA	HUAROCHIRI	HUAROCHIRI	heladas	3.1	SI
LIMA	YAUYES	HONGOS	heladas	3.4	SI
LIMA	YAUYES	HUANTAN	heladas	3.2	SI



LIMA	YAUYOS	LINCHA	heladas	3.2	Si
LIMA	YAUYOS	MIRAFLORES	heladas	3.4	Si
LIMA	YAUYOS	TANTA	heladas	3.3	Si
LIMA	YAUYOS	TUPE	heladas	3.3	Si
LIMA	YAUYOS	VITIS	heladas	3.2	Si
LORETO	MAYNAS	IQUITOS	friaje	2.2	Si
LORETO	MAYNAS	ALTO NANAY	friaje	2.6	Si
LORETO	MAYNAS	PUNCHANA	friaje	2.2	Si
MADRE DE DIOS	TAMBOPATA	TAMBOPATA	friaje	3.4	Si
MADRE DE DIOS	TAMBOPATA	LAS PIEDRAS	friaje	3.7	Si
MADRE DE DIOS	TAMBOPATA	LABERINTO	friaje	3.1	Si
MADRE DE DIOS	MANU	FITZCARRALD	friaje	3.7	Si
MADRE DE DIOS	MANU	MADRE DE DIOS	friaje	3.1	Si
MADRE DE DIOS	MANU	HUEPETUHE	friaje	3.3	Si
MADRE DE DIOS	TAHUAMANU	IÑAPARI	friaje	3.1	Si
MADRE DE DIOS	TAHUAMANU	IBERIA	friaje	3.7	Si
MADRE DE DIOS	TAHUAMANU	TAHUAMANU	friaje	3.6	Si
MOQUEGUA	MARISCAL NIETO	CARUMAS	heladas	3.1	Si
MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	ICHUÑA	heladas	3.3	Si
MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	PUQUINA	heladas	1.7	Si
MOQUEGUA	GENERAL SANCHEZ CERRO	UBINAS	heladas	2.3	Si
PASCO	PASCO	CHAUPIMARCA	heladas	3.4	Si
PASCO	PASCO	TICLACAYAN	heladas	3.1	Si
PASCO	OXAPAMPA	OXAPAMPA	friaje	3.7	Si
PASCO	OXAPAMPA	CHONTABAMBA	friaje	3.7	Si
PASCO	OXAPAMPA	HUANCABAMBA	friaje	3.7	Si
PASCO	OXAPAMPA	PALCAZU	friaje	3.1	Si
PASCO	OXAPAMPA	POZUZO	friaje	3.7	Si
PASCO	OXAPAMPA	VILLA RICA	friaje	3.1	Si
PIURA	AYABACA	AYABACA	heladas	2.0	Si
PIURA	HUANCABAMBA	HUANCABAMBA	heladas	1.7	Si
PUNO	PUNO	PUNO	heladas	3.3	Si
PUNO	PUNO	AMANTANI	heladas	3.3	Si
PUNO	PUNO	ATUNCOLLA	heladas	3.4	Si
PUNO	PUNO	CAPACHICA	heladas	3.3	Si
PUNO	PUNO	COATA	heladas	3.4	Si
PUNO	PUNO	HUATA	heladas	3.1	Si
PUNO	PUNO	SAN ANTONIO	heladas	3.3	Si
PUNO	PUNO	TIQUILLACA	heladas	4.0	Si
PUNO	PUNO	VILQUE	heladas	3.4	Si
PUNO	AZANGARO	AZANGARO	heladas	3.6	Si
PUNO	AZANGARO	ACHAYA	heladas	3.3	Si
PUNO	AZANGARO	ARAPA	heladas	3.3	Si



PUNO	AZANGARO	ASILLO	heladas	3.3	SI
PUNO	AZANGARO	CAMINACA	heladas	3.3	SI
PUNO	AZANGARO	CHUPA	heladas	3.4	SI
PUNO	AZANGARO	MUÑANI	heladas	3.6	SI
PUNO	AZANGARO	POTONI	heladas	3.4	SI
PUNO	AZANGARO	SAMAN	heladas	3.3	SI
PUNO	AZANGARO	SAN JOSE	heladas	3.9	SI
PUNO	AZANGARO	SAN JUAN DE SALINAS	heladas	3.9	SI
PUNO	AZANGARO	SANTIAGO DE PUPUJA	heladas	3.9	SI
PUNO	AZANGARO	TIRAPATA	heladas	3.3	SI
PUNO	CARABAYA	MACUSANI	heladas	3.7	SI
PUNO	CARABAYA	AJOYANI	heladas	3.3	SI
PUNO	CARABAYA	CORANI	heladas	4.0	SI
PUNO	CARABAYA	CRUCERO	heladas	3.1	SI
PUNO	CARABAYA	ITUATA	heladas	3.0	SI
PUNO	CARABAYA	USICAYOS	heladas	3.3	SI
PUNO	CHUCUITO	HUACULLANI	heladas	3.4	SI
PUNO	CHUCUITO	KELLUYO	heladas	3.4	SI
PUNO	CHUCUITO	PISACOMA	heladas	3.3	SI
PUNO	CHUCUITO	ZEPITA	heladas	3.4	SI
PUNO	EL COLLAO	ILAVE	heladas	3.1	SI
PUNO	EL COLLAO	CAPAZO	heladas	3.3	SI
PUNO	EL COLLAO	SANTA ROSA	heladas	3.4	SI
PUNO	EL COLLAO	CONDURIRI	heladas	3.4	SI
PUNO	HUANCANE	COJATA	heladas	3.3	SI
PUNO	HUANCANE	HUATASANI	heladas	3.3	SI
PUNO	HUANCANE	INCHUPALLA	heladas	3.3	SI
PUNO	HUANCANE	PUSI	heladas	3.3	SI
PUNO	HUANCANE	ROSASPATA	heladas	3.3	SI
PUNO	HUANCANE	VILQUE CHICO	heladas	3.3	SI
PUNO	LAMPA	LAMPA	heladas	3.6	SI
PUNO	LAMPA	CALAPIJJA	heladas	3.9	SI
PUNO	LAMPA	NICASIO	heladas	3.3	SI
PUNO	LAMPA	OCUVIRI	heladas	3.1	SI
PUNO	LAMPA	PALCA	heladas	3.4	SI
PUNO	LAMPA	PARATIA	heladas	3.4	SI
PUNO	LAMPA	VILAVILA	heladas	3.3	SI
PUNO	MELGAR	AYAVIRI	heladas	3.1	SI
PUNO	MELGAR	ANTAUTA	heladas	3.3	SI
PUNO	MELGAR	CUPI	heladas	3.3	SI
PUNO	MELGAR	LLALLI	heladas	3.4	SI
PUNO	MELGAR	NUÑO	heladas	3.3	SI
PUNO	MELGAR	ORURILLO	heladas	3.3	SI
PUNO	MELGAR	SANTA ROSA	heladas	4.0	SI
PUNO	MELGAR	UMACHIRI	heladas	3.4	SI
PUNO	MOHO	MOHO	heladas	3.3	SI





PUNO	MOHO	CONIMA	heladas	3.4	SI
PUNO	MOHO	HUAYRAPATA	heladas	4.0	SI
PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	PEDRO VILCA APAZA	heladas	3.4	SI
PUNO	SAN ANTONIO DE PUTINA	QUILCAPUNCU	heladas	3.4	SI
PUNO	SAN ROMAN	JULIACA	heladas	3.4	SI
PUNO	SAN ROMAN	CABANA	heladas	3.4	SI
PUNO	SAN ROMAN	SAN MIGUEL	heladas	3.2	SI
PUNO	SANDIA	SAN JUAN DEL ORO	friaje	3.1	SI
PUNO	SANDIA	YANAHUAYA	friaje	3.1	SI
PUNO	SANDIA	SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO	friaje	3.3	SI
PUNO	YUNGUYO	YUNGUYO	heladas	3.7	SI
PUNO	YUNGUYO	ANAPIA	heladas	3.3	SI
PUNO	YUNGUYO	COPANI	heladas	3.1	SI
TACNA	TACNA	PALCA	heladas	2.3	SI
TACNA	CANDARAVE	CANDARAVE	heladas	3.0	SI
TACNA	TARATA	TARATA	heladas	3.1	SI
TACNA	TARATA	SUSAPAYA	heladas	3.0	SI
TACNA	TARATA	TICACO	heladas	3.4	SI
UCAYALI	CORONEL PORTILLO	CALLERIA	friaje	3.3	SI
UCAYALI	CORONEL PORTILLO	IPARIA	friaje	3.6	SI
UCAYALI	CORONEL PORTILLO	MASISEA	friaje	3.6	SI
UCAYALI	CORONEL PORTILLO	YARINACocha	friaje	3.5	SI
UCAYALI	CORONEL PORTILLO	NUEVA REQUENA	friaje	2.4	SI
UCAYALI	CORONEL PORTILLO	MANANTAY	friaje	3.5	SI



## Apéndice 3

Cálculos de la conductividad térmica promedio del conglomerado de fibra de ichu

Compositor	Especimen	Tª Media	Δ Tª	λ	L (m) Fibro - cemento	L (m) Relleno Ichu	L (m) Total Muro	Area (m2)	Q (W)	λ Fibro - cemento	λ Relleno Ichu<5	
ICHU<5	TM19	15	6.60	0.093365	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6847	0.26	0.08064	
ICHU<5	TM19	15	10.23	0.094803	0.008	0.065	0.081	0.09	1.0776	0.26	0.08198	
ICHU<5	TM19	15	15.15	0.098418	0.008	0.065	0.081	0.09	1.6567	0.26	0.08536	
ICHU<5	TM19	20	6.60	0.093473	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6855	0.26	0.08074	
ICHU<5	TM19	20	10.16	0.101206	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1425	0.26	0.08798	
ICHU<5	TM19	20	15.06	0.105639	0.008	0.065	0.081	0.09	1.7677	0.26	0.09217	
ICHU<5	TM19	25	6.56	0.097148	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7081	0.26	0.08417	
ICHU<5	TM19	25	10.09	0.106960	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1991	0.26	0.09342	
ICHU<5	TM19	25	14.97	0.111932	0.008	0.065	0.081	0.09	1.8618	0.26	0.09817	
ICHU<5	TM19	35	6.49	0.136347	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9832	0.26	0.12206	
ICHU<5	TM19	35	9.52	0.129057	0.008	0.065	0.081	0.09	1.3651	0.26	0.11482	
ICHU<5	TM19	35	14.34	0.135457	0.008	0.065	0.081	0.09	2.1583	0.26	0.12117	
ICHU<5	TM19	45	6.66	0.089104	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6594	0.26	0.07670	
ICHU<5	TM19	45	9.46	0.108922	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1449	0.26	0.09529	
ICHU<5	TM19	45	14.26	0.120038	0.008	0.065	0.081	0.09	1.9019	0.26	0.10599	
ICHU<5	TM20	15	6.64	0.100682	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7428	0.26	0.08749	
ICHU<5	TM20	15	8.25	0.102551	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9401	0.26	0.08925	
ICHU<5	TM20	15	13.19	0.105842	0.008	0.065	0.081	0.09	1.5512	0.26	0.09236	
ICHU<5	TM20	20	6.62	0.103628	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7622	0.26	0.09026	
ICHU<5	TM20	20	8.20	0.106237	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9679	0.26	0.09274	
ICHU<5	TM20	20	13.09	0.112108	0.008	0.065	0.081	0.09	1.6305	0.26	0.09834	
ICHU<5	TM20	25	6.59	0.104617	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7660	0.26	0.09120	
ICHU<5	TM20	25	8.15	0.110444	0.008	0.065	0.081	0.09	1.0001	0.26	0.09675	
ICHU<5	TM20	25	13.03	0.118150	0.008	0.065	0.081	0.09	1.7105	0.26	0.10416	
ICHU<5	TM20	35	6.55	0.114639	0.008	0.065	0.081	0.09	0.8343	0.26	0.10077	
ICHU<5	TM20	35	8.30	0.111839	0.008	0.065	0.081	0.09	1.0314	0.26	0.09808	
ICHU<5	TM20	35	13.15	0.112446	0.008	0.065	0.081	0.09	1.6430	0.26	0.09866	
ICHU<5	TM20	45	6.64	0.102881	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7590	0.26	0.08956	
ICHU<5	TM20	45	8.22	0.110194	0.008	0.065	0.081	0.09	1.0064	0.26	0.09651	
ICHU<5	TM20	45	14.94	0.116225	0.008	0.065	0.081	0.09	1.9293	0.26	0.10230	
ICHU<5	TM21	15	6.62	0.101579	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7472	0.26	0.08833	
ICHU<5	TM21	15	8.25	0.101924	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9343	0.26	0.08866	
ICHU<5	TM21	15	13.18	0.104032	0.008	0.065	0.081	0.09	1.5235	0.26	0.09065	
ICHU<5	TM21	20	6.65	0.104464	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7719	0.26	0.09106	
ICHU<5	TM21	20	8.19	0.104257	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9487	0.26	0.09086	
ICHU<5	TM21	20	13.09	0.111213	0.008	0.065	0.081	0.09	1.6175	0.26	0.09748	
ICHU<5	TM21	25	6.61	0.103925	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7633	0.26	0.09055	
ICHU<5	TM21	25	8.14	0.110187	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9966	0.26	0.09650	
ICHU<5	TM21	25	14.97	0.118311	0.008	0.065	0.081	0.09	1.9679	0.26	0.10432	
ICHU<5	TM21	35	6.57	0.112524	0.008	0.065	0.081	0.09	0.8214	0.26	0.09874	
ICHU<5	TM21	35	10.25	0.110982	0.008	0.065	0.081	0.09	1.2640	0.26	0.09726	
ICHU<5	TM21	35	15.11	0.106625	0.008	0.065	0.081	0.09	1.7901	0.26	0.09311	
ICHU<5	TM21	45	6.64	0.092231	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6805	0.26	0.07959	
ICHU<5	TM21	45	10.17	0.105167	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1884	0.26	0.09172	
ICHU<5	TM21	45	14.96	0.110155	0.008	0.065	0.081	0.09	1.8310	0.26	0.09647	
					0.065			0.09	1.202616	MEDIA ICHU	0.094319	W/(m·C)

## Apéndice 4

### Cálculos de la conductividad térmica promedio de la lana de vidrio

Composicion	Especimen	Tª Media	$\Delta T^{\circ}$	$\lambda$	L (m) Fibro - cemento	L (m) Relleno L Vidrio	L (m) Total Muro	Area (m2)	Q (W)	$\lambda$ Fibro - cemento	$\lambda$ Relleno L Vidrio	
LV	TM01-R	15	6.82	0.062774	0.008	0.065	0.081	0.09	0.4757	0.26	0.05290	
LV	TM01-R	15	9.98	0.065150	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7224	0.26	0.05500	
LV	TM01-R	15	14.93	0.067389	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1179	0.26	0.05700	
LV	TM01-R	20	6.80	0.060318	0.008	0.065	0.081	0.09	0.4557	0.26	0.05073	
LV	TM01-R	20	9.92	0.064636	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7124	0.26	0.05455	
LV	TM01-R	20	14.86	0.069244	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1433	0.26	0.05865	
LV	TM01-R	25	6.45	0.086428	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6194	0.26	0.07423	
LV	TM01-R	25	10.15	0.083287	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9393	0.26	0.07135	
LV	TM01-R	25	15.05	0.085757	0.008	0.065	0.081	0.09	1.4340	0.26	0.07361	
LV	TM01-R	35	6.58	0.082061	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6000	0.26	0.07023	
LV	TM01-R	35	8.40	0.089388	0.008	0.065	0.081	0.09	0.8343	0.26	0.07696	
LV	TM01-R	35	13.23	0.098201	0.008	0.065	0.081	0.09	1.4436	0.26	0.08516	
LV	TM01-R	45	6.63	0.082573	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6083	0.26	0.07070	
LV	TM01-R	45	8.32	0.095855	0.008	0.065	0.081	0.09	0.8861	0.26	0.08296	
LV	TM01-R	45	13.10	0.110670	0.008	0.065	0.081	0.09	1.6109	0.26	0.09696	
LV	TM05	15	6.75	0.078840	0.008	0.065	0.081	0.09	0.5913	0.26	0.06730	
LV	TM05	15	10.06	0.080099	0.008	0.065	0.081	0.09	0.8953	0.26	0.06844	
LV	TM05	15	15.00	0.082023	0.008	0.065	0.081	0.09	1.3671	0.26	0.07020	
LV	TM05	20	6.76	0.074944	0.008	0.065	0.081	0.09	0.5629	0.26	0.06377	
LV	TM05	20	10.00	0.083713	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9301	0.26	0.07174	
LV	TM05	20	14.92	0.083436	0.008	0.065	0.081	0.09	1.3832	0.26	0.07149	
LV	TM05	25	6.63	0.103455	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7621	0.26	0.09010	
LV	TM05	25	9.95	0.100989	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1165	0.26	0.08778	
LV	TM05	25	14.85	0.101671	0.008	0.065	0.081	0.09	1.6776	0.26	0.08842	
LV	TM05	35	6.62	0.098969	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7280	0.26	0.08588	
LV	TM05	35	9.83	0.108081	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1805	0.26	0.09449	
LV	TM05	35	14.67	0.112499	0.008	0.065	0.081	0.09	1.8337	0.26	0.09871	
LV	TM05	45	6.66	0.099420	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7357	0.26	0.08630	
LV	TM05	45	8.09	0.108941	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9793	0.26	0.09531	
LV	TM05	45	14.99	0.108370	0.008	0.065	0.081	0.09	1.8050	0.26	0.09477	
LV	TM18	15	6.67	0.068433	0.008	0.065	0.081	0.09	0.5072	0.26	0.05793	
LV	TM18	15	10.09	0.068661	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7692	0.26	0.05809	
LV	TM18	15	15.06	0.070294	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1763	0.26	0.05959	
LV	TM18	20	6.74	0.062775	0.008	0.065	0.081	0.09	0.4701	0.26	0.05290	
LV	TM18	20	10.03	0.067752	0.008	0.065	0.081	0.09	0.7551	0.26	0.05732	
LV	TM18	20	14.96	0.070217	0.008	0.065	0.081	0.09	1.1672	0.26	0.05952	
LV	TM18	25	6.67	0.083998	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6225	0.26	0.07200	
LV	TM18	25	8.87	0.084285	0.008	0.065	0.081	0.09	0.8307	0.26	0.07226	
LV	TM18	25	13.78	0.085710	0.008	0.065	0.081	0.09	1.3123	0.26	0.07357	
LV	TM18	35	6.60	0.085137	0.008	0.065	0.081	0.09	0.6243	0.26	0.07304	
LV	TM18	35	9.91	0.094901	0.008	0.065	0.081	0.09	1.0450	0.26	0.08207	
LV	TM18	35	14.78	0.095428	0.008	0.065	0.081	0.09	1.5671	0.26	0.08256	
LV	TM18	45	6.71	0.069488	0.008	0.065	0.081	0.09	0.5181	0.26	0.05887	
LV	TM18	45	9.83	0.089361	0.008	0.065	0.081	0.09	0.9760	0.26	0.07693	
LV	TM18	45	14.66	0.091738	0.008	0.065	0.081	0.09	1.4943	0.26	0.07913	
									0.977485	MEDIA LV	0.072921	W/(m·C)

## Apéndice 5

### INSIGHT WIDGETS

#### SIGNIFICADO DE LOS FACTORES QUE ANALIZA INSIGHT

##### **BUILDING ORIENTATION**

Orientación del edificio.

Gira el edificio en sentido de las agujas del reloj.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 0
- 45
- 90
- 135
- 180
- 225
- 270
- 315

##### **WWR – SOUTHERN WALLS (Windows to Wall Ratio)**

Ratio de ventana respecto muro.

Es el área que ocupa el vidrio de las ventanas en relación con el área de las fachadas exteriores en orientación sur. Conjuntamente con las propiedades de las ventanas influyen en la iluminación natural y en la calefacción y refrigeración.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 0% (equivale que no existe ventana)
- 15%
- 30%
- 40%
- 50%
- 65%
- 80%
- 95% (equivale a que prácticamente toda la fachada es de vidrio)

##### **WWR – NORTHERN WALLS (Windows to Wall Ratio)**

Igual que el anterior con las fachadas de orientación norte.

##### **WWR – WESTERN WALLS (Windows to Wall Ratio)**

Igual que el anterior con las fachadas de orientación oeste.

##### **WWR – EASTERN WALLS (Windows to Wall Ratio)**

Igual que el anterior con las fachadas de orientación este.

##### **WINDOW SHADES – SOUTH**

Sombras en las ventanas de orientación sur. Puede tener un efecto beneficioso en climas cálidos pero en invierno o en climas fríos pueden hacer que se incremente el consumo energético por calefacción.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 1/6 Win Height. Una sexta parte de la altura de la ventana (el 16,67%) está sombreada.
- 1/4 Win Height. Una cuarta parte de la altura de la ventana (el 25%) está sombreada.
- 1/3 Win Height. Una tercio de la altura de la ventana (el 33,33%) está sombreada.
- 1/2 Win Height. La mitad de la altura de la ventana está sombreada.
- 2/3 Win Height. Dos tercios de la altura de la ventana (el 66,67%) está sombreada.

#### WINDOW SHADES – NORTH

Igual que el anterior con las fachadas de orientación norte.

En el hemisferio norte, este factor normalmente no varía el consumo energético puesto que en la orientación norte no da el Sol.

Todo lo contrario ocurre en el hemisferio sur.

#### WINDOW SHADES – WEST

Igual que el anterior con las fachadas de orientación oeste.

#### WINDOW SHADES – EAST

Igual que el anterior con las fachadas de orientación este.

#### WINDOW GLASS – SOUTH

Propiedades de las ventanas con orientación sur.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- Sgl Clr. Vidrio simple transparente de 6mm
- Dble Clr. Vidrio doble transparente formado por 2 vidrios de 6 mm cada uno y cámara de aire de 13 mm.
- Trp LoE. Vidrio triple bajo emisivo formado por 3 vidrios de 6 mm cada uno y 2 cámaras de aire de 6mm.
- Dbl LoE. Vidrio doble bajo emisivo formado por 2 vidrios de 6 mm cada uno y cámara de aire de 13 mm.

Las propiedades de los diferentes vidrios se muestran en la siguiente tabla.

Name	U-Value(W/m <sup>2</sup> K)	SHGC	VLT
Sgl Clr	6,17	0,81	0,88
Dble Clr	2,74	0,7	0,78
Trp LoE	1,55	0,47	0,66
Dbl LoE	1,99	0,73	0,74

Donde:

U-Value( $W/m^2K$ ) es el coeficiente de transferencia de calor. Cuanto menor sea, menos calor se transmite por conducción por el vidrio.

SHGC es el factor de sombra, que equivale a la energía procedente del sol que traspasa el vidrio dividido por la energía procedente del sol que incide en el vidrio. Puede variar de 0 a 1.

VLT es la transmisión de luz visible. Cuanto más cercano sea de 1 es más transparente y cuanto más bajo el vidrio está más oscurecido.

#### WINDOW GLASS – NORTH

Igual que el anterior con las fachadas de orientación norte.

#### WINDOW GLASS – WEST

Igual que el anterior con las fachadas de orientación oeste.

#### WINDOW GLASS – EAST

Igual que el anterior con las fachadas de orientación este.

#### WALL CONSTRUCTION

Materiales que forman los muros exteriores (fachadas)

Se calcula el edificio para los siguientes tipos de muros:

Nombre	Descripción
Uninsulated	R0 Wood Frame Wall
R13 Metal	R13 Metal Frame Wall
R13 Wood	R13 Wood Frame Wall, Wood Shingle
R13+R10 Metal	R13 + Ra10 Metal Frame Wall
14-inch ICF	Insulated Concrete Form Wall 14 inch (36 cm) U-0.034
R38 Wood	R38 Wood Frame Wall
R2 CMU	R2 CMU Wall
12.25-inch SIP	Structurally Ins. Panel (SIP) Wall 12.25 inch (311 mm)

Estas composiciones de muro están tomadas de ASHRAE 90.1

Lo importante son las características térmicas de cada uno, que se muestran en la siguiente tabla:

Nombre	U ( $W/m^2K$ )	Capacidad Calorífica ( $kJ/m^2 K$ )
Uninsulated	1,911	219,01
R13 Metal	0,985	205,51
R13 Wood	0,487	35,58
R13+R10 Metal	0,331	232,04

14-inch ICF	0,196	288,46
R38 Wood	0,154	36,84
R2 CMU	1,412	382,10
12.25-inch SIP	0,152	86,06

### ROOF CONSTRUCTION

Materiales que forman la cubierta.

Se calcula el edificio para los siguientes tipos de cubiertas:

Nombre	Descripción
Uninsulated	R0 over Roof Deck
R10	R10 over Roof Deck
R15	R15 Wood Frame Roof
R19	R19 insulation Wood Frame Roof, assembly U-0.061
R38	R38 Wood Frame Roof
R60	R60 Wood Frame Roof
10.25-inch SIP	Structurally Ins. Panel (SIP) Roof 10.25 in (260mm)

Estas composiciones de muro están tomadas de ASHRAE 90.1

Lo importante son las características térmicas de cada uno, que se muestran en la siguiente tabla:

Nombre	U (W/m <sup>2</sup> K)	Capacidad Calorífica (kJ/m <sup>2</sup> K)
Uninsulated	4,268	29,17
R10	0,483	42,20
R15	0,364	41,52
R19	0,346	24,14
R38	0,133	26,65
R60	0,086	28,10
10.25-inch SIP	0,151	29,53

### INFILTRATION

Corresponde a la entrada de aire exterior en los espacios acondicionados de forma no intencionada debido normalmente a aberturas en el cerramiento exterior del edificio. No se

considera infiltración la ventilación que se realiza para mantener una calidad de aire interior adecuada.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 0,17 ACH
- 0,4 ACH
- 0,8 ACH
- 1,2 ACH
- 1,6 ACH
- 2,0 ACH

donde ACH corresponde a las renovaciones de aire en un espacio o habitación por hora.

Ejemplo: Si una habitación es de 10 x 4 metros y 2,5 metros de altura, su volumen es 100 m<sup>3</sup>

Si las infiltraciones son 0,8 ACH, significa que han entrado del exterior 80 m<sup>3</sup> de aire en una hora.

Normalmente, la forma más efectiva de reducir las infiltraciones es instalando ventanas lo más herméticas posibles. También se pueden producir infiltraciones por las rejillas de ventilación que pueden tener las cocinas, por la puerta exterior etc.

#### **LIGHTING EFFICIENCY**

Rendimiento de la iluminación.

Representa la ganancia de calor en las habitaciones y el consumo de energía eléctrica debido a la iluminación artificial. Se mide en potencia (Wattios) por unidad de superficie (m<sup>2</sup>).

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 3,23 W/m<sup>2</sup>
- 7,53 W/m<sup>2</sup>
- 11,84 W/m<sup>2</sup>
- 16,15 W/m<sup>2</sup>
- 20,45 W/m<sup>2</sup>

Para calcularlo hay que sumar las potencias eléctricas de todas las lámparas del edificio y dividirlo por la superficie de éste.

Como referencia, el Código Técnico de la Edificación, en su DB-HE3 fija los siguientes valores de potencia máxima en iluminación:



## 2.2 Potencia instalada en edificio

La potencia instalada en iluminación, teniendo en cuenta la potencia de lámparas y equipos auxiliares, no superará los valores especificados en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Potencia máxima de iluminación

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [W/m <sup>2</sup> ]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	16
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600lux	25

Estas potencias se refieren al 100% de la iluminación encendida. Al hacer los cálculos de consumo energético debido a la iluminación se tiene en cuenta las horas de funcionamiento según la planificación de la operación.

### DAYLIGHTING & OCCUPANCY CONTROLS

Representa la reducción de iluminación artificial con sensores de detección de iluminación natural y de ocupación.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- Ninguno.
- Control con la iluminación natural.
- Control con la ocupación.
- Control con la iluminación natural y la ocupación.

### PLUG LOAD EFFICIENCY

Representa la potencia eléctrica usada por equipos como ordenadores, impresoras y pequeños electrodomésticos. No incluye iluminación ni climatización. Se mide en potencia (Wattios) por unidad de superficie (m<sup>2</sup>).

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 6,46 W/m<sup>2</sup>
- 10,76 W/m<sup>2</sup>
- 13,99 W/m<sup>2</sup>
- 17,22 W/m<sup>2</sup>
- 21,53 W/m<sup>2</sup>
- 27,99 W/m<sup>2</sup>

Estas potencias se refieren al 100% de equipos en funcionamiento. Al hacer los cálculos de consumo energético, se tiene en cuenta las horas de funcionamiento según la planificación de la operación.

#### HVAC

Representa a los equipos de calefacción (Heating), ventilación (Ventilation) y aire acondicionado (Air Conditioning)

Se calcula el edificio para los siguientes tipos de sistemas de climatización:

Nombre	Descripción
ASHRAE Package System	ASHRAE 90.1-2010 minimum efficiency Packaged Single Zone System, 11 EER, 70F economizer
High Eff. Package System	Packaged Single Zone System, small unit, 20 SEER 85% AFUE
High Eff. Heat Pump	Heat Pump, 17.4 SEER, 9.6 HSPF, Electric Heat
ASHRAE Heat Pump	ASHRAE 90.1-2010 minimum efficiency Heat Pump, 9.5 EER, COP 3.2 Electric Heat, 70F economizer
ASHRAE VAV	ASHRAE 90.1-2010 minimum efficiency Variable Air Volume, COP 6.10 Chiller, Gas Boiler, 75F economizer
High Eff. VAV	VAV, Underfloor Air Distribution, COP7.5 Chiller, 95% Eff. Gas Boiler, economizer
ASHRAE Package Terminal Heat Pump	ASHRAE 90.1-2010 minimum efficiency Package Terminal Heat Pump 11.9 EER
High Eff. Package Terminal AC	Package Terminal Air Conditioner unit, 12.7 EER, 90.4% Gas Boiler

Estas configuraciones se encuentran descritas en la normativa ASHRAE Standard 90.1-2010 Energy Standard for Buildings except Low\_Rise Residential Buildings.

A continuación se hace un resumen de las características principales:

#### ASHRAE Package System

Un único equipo que produce un caudal constante de calor y frío para una única zona, que se calienta con agua calentada en una caldera que consume combustible fósil y se enfría con un equipo de refrigeración de expansión directa de rendimiento 11 EER.

#### High Eff. Package System

Un único equipo que produce un caudal constante de calor y frío para una única zona, que se calienta con agua calentada en una caldera que consume combustible fósil con rendimiento del 85% y se enfría con un equipo de refrigeración de expansión directa de rendimiento 20 SEER.

**High Eff. Heat Pump**

Calentamiento y enfriamiento por una bomba de calor de alto rendimiento: 17.4 SEER y 9.6 HSPF

**ASHRAE Heat Pump**

Calentamiento y enfriamiento por una bomba de calor de alto rendimiento: 9.5 EER y COP 3.2

**ASHRAE VAV**

Sistema de Volumen de Aire Variable, que ajusta la cantidad de aire en cada espacio a las necesidades de climatización. Se compone de una planta enfriadora con un rendimiento COP 6.10 y una caldera de gas.

**High Eff. VAV**

Sistema de Volumen de Aire Variable, que ajusta la cantidad de aire en cada espacio a las necesidades de climatización. Se compone de una planta enfriadora de alto rendimiento COP 7,5 y una caldera de gas de alto rendimiento 95% con recuperación de calor.

**ASHRAE Package Terminal Heat Pump**

Bombas de calor instaladas directamente en el espacio que acondiciona con rendimiento de 11 EER.

**High Eff. Package Terminal AC**

La refrigeración es por un equipo montado en el espacio a climatizar con alto rendimiento de 12,7 EER y la calefacción se realiza por caldera de gas de alto rendimiento de 90,4%

**OPERATING SCHEDULE**

Representa la planificación de la ocupación, que son las horas que el edificio está ocupado.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 24/7. 24 horas al día los 7 días de la semana.
- 12/7. 12 horas al día los 7 días de la semana.
- 12/6. 12 horas al día los 6 días de la semana.
- 12/5. 12 horas al día los 5 días de la semana.

**PV – PANEL EFFICIENCY**

Es el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, es decir, el porcentaje de energía solar que se convierte en energía eléctrica. Los paneles de mayor rendimiento tienen un coste superior, por lo que es posible que la mayor producción de electricidad no compense este sobrecoste.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 16%
- 18,6%
- 20,4%

**PV – PAYBACK LIMIT**

Representa el periodo de retorno de la inversión, es decir, el número de años que se tarda en recuperar la inversión gracias a la energía eléctrica producida. Se considerarán en las otras dos gráficas (Panel efficiency, Surface coverage) sólo los paneles que cumplan con los periodos de retorno de la inversión que se especifiquen.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 10 años
- 20 años
- 30 años

Considera los siguientes costes de inversión:

Rendimiento del panel	Coste inversión por Watio
16%	2,86 dolares
18,6%	3,06 dolares
20,4%	3,47 dolares

#### **PV – SURFACE COVERAGE**

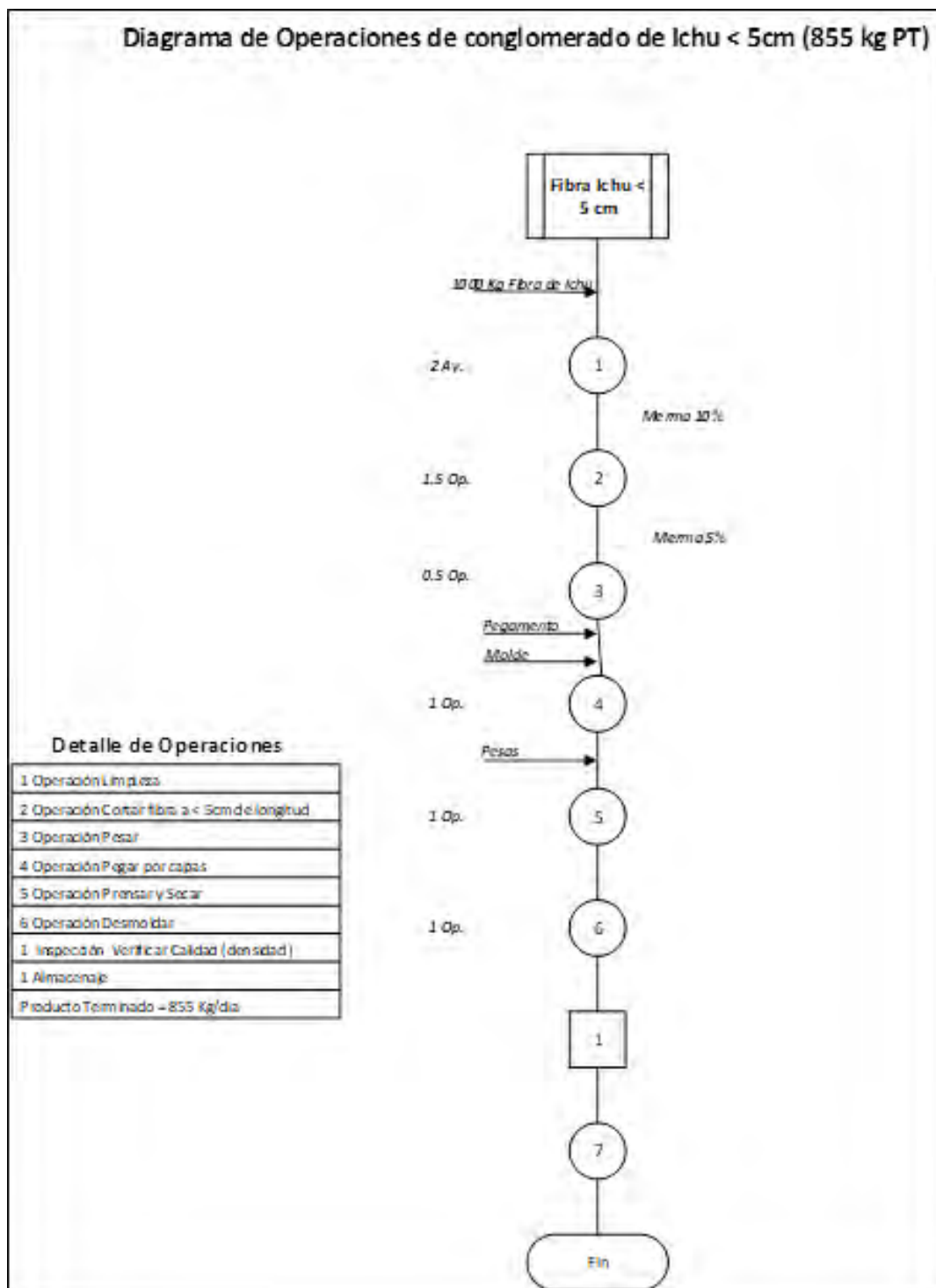
Define el porcentaje de área de la cubierta que puede ser usada por paneles fotovoltaicos. Se muestran los valores de ahorro energético para los paneles seleccionados (por su rendimiento) que cumplan los límites de retorno de la inversión que se haya seleccionado.

Se calcula el edificio para los siguientes valores:

- 0%. Equivale a no instalar paneles fotovoltaicos.
- 60%.
- 75%.
- 90%

En estas tres últimas gráficas se muestran los resultados medios para las opciones seleccionadas de paneles. Por ejemplo, si se selecciona en Payback Limit los 3 valores y en Surface Coverage 75% y 90%, en la gráfica Panel Efficiency para un rendimiento de panel de 20,4% muestra el ahorro medio que se obtendría con una superficie del 75% y del 90%.

## Apéndice 6



Capital	182,000.00 €
Frecuencia de pago	anual
Tipo interés nominal	14.0%
Tipo de interés efectivo	0.010978852
Duración en años	5 Años
Número total de pago	60

Período	Mensualidad	Intereses	Amortización	Capital vivo	Capital Amortizado	Amort. Anticipada
0				182,000.00 €		
1	4,157.35 €	1,998.15 €	2,159.20 €	179,840.80 €	2,159.20 €	0
2	4,157.35 €	1,974.45 €	2,182.90 €	177,657.90 €	4,342.10 €	
3	4,157.35 €	1,950.48 €	2,206.87 €	175,451.04 €	6,548.96 €	
4	4,157.35 €	1,926.25 €	2,231.10 €	173,219.94 €	8,780.06 €	
5	4,157.35 €	1,901.76 €	2,255.59 €	170,964.35 €	11,035.65 €	
6	4,157.35 €	1,876.99 €	2,280.35 €	168,684.00 €	13,316.00 €	
7	4,157.35 €	1,851.96 €	2,305.39 €	166,378.61 €	15,621.39 €	
8	4,157.35 €	1,826.65 €	2,330.70 €	164,047.91 €	17,952.09 €	
9	4,157.35 €	1,801.06 €	2,356.29 €	161,691.62 €	20,308.38 €	
10	4,157.35 €	1,775.19 €	2,382.16 €	159,309.46 €	22,690.54 €	
11	4,157.35 €	1,749.03 €	2,408.31 €	156,901.15 €	25,098.85 €	
12	4,157.35 €	1,722.59 €	2,434.75 €	154,466.39 €	27,533.61 €	



Costos de Materia Prima

Nombre	Precio	MP (Kg)	PT (Kg)	PU
Ichu	S/. 200.00	1000	855	S/. 0.23
Insumos	S/. 15.00	100	85.5	S/. 0.18

Costos de MO Directa anual

Puesto	Cant	Mensual	Total
Ayudante	2	S/. 950.00	S/. 1,900.00
Operario	5	S/. 1,200.00	S/. 6,000.00
			S/. 7,900.00
		Anual	S/. 94,800.00

Costos Indirectos de Fabricacion

Costo	Cant	Mensual	Total
Gerente	1	S/. 3,000.00	S/. 3,000.00
Calidad	1	S/. 1,200.00	S/. 1,200.00
Asist. Adm.	1	S/. 1,200.00	S/. 1,200.00
Contabilidad	1	S/. 300.00	S/. 300.00
Sistema	1	S/. 300.00	S/. 300.00
Caja Chica	1	S/. 500.00	S/. 500.00
			S/. 6,500.00
		Anual	S/. 78,000.00

Gastos Administrativos y Ventas

Rubro	Cant. / Factor	Monto	Total
Laborales	0.59	S/. 172,800.00	S/. 101,952.00
Alquileres	12	S/. 2,000.00	S/. 24,000.00
		Anual	S/. 125,952.00