



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Modelamiento estructural para la construcción de viviendas térmicas
en la localidad de Huancas, Chachapoyas, Amazonas, 2021

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil**

AUTORES:

Delgado Roque, Frank Edson (ORCID: 0000-0002-4607-6639)

Inga Detquizán, Royer (ORCID: 0000-0001-7845-211X)

ASESOR(A):

M(o). De La Cruz Vega, Sleyther Arturo (ORCID: 0000-0003-0254-301X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

CALLAO– PERÚ

2021

DEDICATORIA

Se lo dedicamos al creador de nuestros caminos a vuestro Dios padre que está en los cielos, por brindarnos inteligencia y sabiduría para poder salir de nuestros continuos tropiezos. El que también me acompaña y siempre me levanta a seguir adelante. A nuestros amados padres que con tanto esfuerzo nos brindaron su apoyo y motivación para poder lograr nuestros objetivos. Y amigos familiares que siempre estuvieron compartiendo sus ideas para ser realidad una meta más en nuestras vidas profesionales. No podríamos sentirse más contentos con la confianza que han puesto sobre nuestras personas.

*El autor(s): DELGADO ROQUE FRANK EDSON
INGA DETQUIZÁN, ROYER*

AGRADECIMIENTO

En esta nueva etapa y meta en mi vida primeramente agradezco a Dios todo poderoso por brindarme buena salud y vida, así como también agradezco a mi familia amigos por sus buenos deseos, de ir por el camino comedido y la fuerza necesaria para seguir enfrentando cada uno de mis objetivos propuestos, he logrado concluir con éxito un proyecto que en el principio parecería como una tarea colosal he interminable. Muchas gracias a mi Padre y a mi Madre que siempre llevo como ejemplo para mí.

El autor(s): DELGADO ROQUE FRANK E.

INGA DETQUIZÁN, ROYER

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	vi
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I.- INTRODUCCIÓN	1
II.- MARCO TEÓRICO	4
III.- METODOLOGÍA	13
3.1. Tipo y diseño de investigación:	13
3.2. Variables y Operacionalización:	13
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis:	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:	14
3.5. Procedimientos:	15
3.6. Método de análisis de datos:	16
3.7. Aspectos éticos:	16
IV.- RESULTADOS	17
4.1. Determinación de las condiciones climáticas para la zona de friaje de la provincia de Chachapoyas	17
4.2. Modelamiento de vivienda	25
4.3. Propuesta de vivienda térmica para zona de friaje	48
V.- DISCUSIÓN	86

VI.- CONCLUSIONES	92
VII.- RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS	95

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1: Actualización de datos climáticos y ubicación geográfica en el software Ecotec mediante herramienta Weather Tool.....	18
Figura 2: Temperaturas mínimas en la provincia de Chachapoyas.....	19
Figura 3: Temperaturas máximas en la provincia de Chachapoyas.....	20
Figura 4: Temperaturas promedio en la provincia de Chachapoyas.....	21
Figura 5: Radiación solar en Chachapoyas por semana.....	22
Figura 6: Humedad relativa en la provincia de Chachapoyas.....	23
Figura 7: Velocidad del viento en la provincia de Chachapoyas, Amazonas.....	24
Figura 8: Ubicación de vivienda seleccionada para estudio.....	25
Figura 9: Registro de dimensiones de vivienda y constatación de materiales de construcción.....	26
Figura 10: Modelamiento dimensional de viviendas en software Ecotec.....	29
Figura 11: Configuración de material para paredes de vivienda.....	30
Figura 12: Configuración de material para puertas y ventanas de vivienda.....	31
Figura 13: Modelo de vivienda típica de la localidad de Huancas, Chachapoyas en software Autotec.....	32
Figura 14: Generación de sombra en la vivienda para el día 19 de agosto a las 14 horas, de acuerdo con la ubicación geográfica de la vivienda y la rotación del sol para esa fecha y hora indicada.....	33
Figura 15: Distribución de sombras en vivienda.....	34
Figura 16: Incidencia de radiación solar promedio diaria anual para vivienda en Wh/m ²	36
Figura 17: Piso de vivienda seleccionado para ser definida como área de mallado.....	37
Figura 18: Área de mallado definida a una altura de 0,8 m.....	37
Figura 19: Niveles de iluminación en el interior de la vivienda en lux.....	38
Figura 20: División de vivienda en 04 zonas para análisis térmico.....	39
Figura 21: Temperatura exterior y temperatura interior de la cocina para el día más frío de la data climatológica ingresada.....	40
Figura 22: Distribución de la temperatura por horas durante un año en la cocina de la vivienda.....	41
Figura 23: Temperatura exterior y temperatura interior del dormitorio 1 para el día más frío de la data climatológica ingresada.....	42
Figura 24: Distribución de la temperatura por horas durante un año en el dormitorio 1 de la vivienda.....	43
Figura 25: Temperatura exterior y temperatura interior del dormitorio 2 para el día más frío de la data climatológica ingresada.....	44

Figura 26: Distribución de la temperatura por horas durante un año en el dormitorio 2 de la vivienda.....	45
Figura 27: Temperatura exterior y temperatura interior de la sala-comedor para el día más frío de la data climatológica ingresada.....	46
Figura 28: Distribución de la temperatura por horas durante un año en la sala-comedor de la vivienda.....	47
Figura 29: Las temperaturas se encuentran por debajo de la zona de confort (franja verde en gráfico superior)	48
Figura 30: Zona de confort para la localidad en estudio	49
Figura 31: La mejor orientación de la vivienda con respecto al norte.....	50
Figura 32: Incidencia de radiación solar en meses más fríos y meses más calurosos.....	51
Figura 33: Rango de distribución de sombras para el día más frío en promedio.....	52
Figura 34: Vista panorámica de la localidad de Huancas, Chachapoyas, donde se ve que el pino es una madera predominante en la zona.	54
Figura 35: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común) y la madera de pino	54
Figura 36: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2.....	55
Figura 37: Distribución de temperaturas en horas para todo un año.....	56
Figura 38: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), aire y la madera de pino	57
Figura 39: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por adobe, madera y capa intermedia de aire.....	58
Figura 40: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de aire en las paredes.....	59
Figura 41: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), grava y madera de pino	60
Figura 42: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por adobe, madera y capa intermedia de grava.	61
Figura 43: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de grava entre las capas de adobe y madera de pino.....	62
Figura 44: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), cascarilla de arroz y madera de pino.....	63
Figura 45: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa intermedia de arroz (5cm).	64
Figura 46: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de cascarilla de arroz (de 5 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.	65

Figura 47: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa intermedia de arroz (15cm).....	66
Figura 48: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de cascarilla de arroz (de 15 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.....	67
Figura 49: Lana de vidrio comercial AISLANGLASS.....	68
Figura 50: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), lana de vidrio y madera de pino.....	68
Figura 51: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa de fibra de vidrio comercial.....	69
Figura 52: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de lana de vidrio comercial (de 5 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.....	70
Figura 53: Poliestireno expandido comercial.....	71
Figura 54: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), poliestireno expandido y madera de pino.....	71
Figura 55: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa de polipropileno expandido comercial.....	72
Figura 56: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de polipropileno expandido (de 5 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.....	73
Figura 57: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa de polipropileno expandido comercial (de 10 cm de espesor).....	75
Figura 58: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de polipropileno expandido (de 10 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.....	76
Figura 59: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para las capas de madera de pino y poliestireno expandido.....	77
Figura 60: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de madera de pino y una capa de polipropileno expandido comercial (de 15 cm de espesor).....	78
Figura 61: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de poliestireno expandido (de 15 cm) entre dos capas de 2,5 cm madera de pino.....	79
Figura 62: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para las capas de madera de pino y poliestireno expandido.....	80
Figura 63: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de madera de pino y una capa de cascarilla de arroz (de 15 cm de espesor).....	81

Figura 64: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de polipropileno expandido (de 15 cm) entre dos capas de 2,5 cm madera de pino.	82
Figura 65: Espesor, densidad, calor específico, conductividad y distribución para las capas de madera de pino, poliestireno expandido y cascarilla de arroz	83
Figura 66: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de madera de pino, dos capas de polipropileno expandido (cada una de 5 cm) y una capa de cascarilla de arroz (de 20 cm de espesor).....	84
Figura 67: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de cascarilla de arroz (de 20 cm) entre dos capas de polipropileno expandido de 5 cm cada una y dos capas (exterior e interior) de madera de pino.	85
Figura 68: La orientación actual de la vivienda es de 30° hacia el este con respecto al norte.....	87
Figura 69: rango de sombras para el día más frío de la data climatológica ingresada.....	88

RESUMEN

En el presente estudio se realizó el análisis térmico de una vivienda tradicional ubicada en la localidad de Huancas, en Chachapoyas, región Amazonas, Perú y se propusieron modificaciones para mejorar el confort térmico en el interior de la vivienda. Para esto se utilizó el software de simulación Ecotect, en el cual se ingresó los datos climatológicos de la zona y coordenadas de ubicación. Se modeló la vivienda de acuerdo a las medidas de longitudes, materiales constructivos, distribución de ambientes y se analizó las prestaciones térmicas de la vivienda para sus condiciones iniciales. La simulación mostró condiciones de temperatura fuera del rango de confort térmico, la temperatura interior en la vivienda, en las épocas de friaje alcanza los 13 °C. Para reparar esta situación se realizó un análisis de rango de sombras de la vivienda y se obtuvo el ángulo de orientación óptima para mejor aprovechamiento de la radiación solar. Otra medida pasiva fue la incorporación de materiales aislantes en las paredes de la vivienda. El empleo de materiales comerciales como la lana de vidrio o el poliestireno expandido incrementaron la temperatura interior hasta los 18 °C. Así mismo, se optó por la utilización de materiales de la zona como la madera de pino y la cascarilla de arroz, consiguiendo con este último temperaturas interiores de hasta 18 °C. Finalmente se descarta la utilización de adobe, por tener bajas prestaciones termoaislantes y se propone la utilización de paredes constituidas por madera de pino, cascarilla de arroz y poliestireno expandido, con el cual se alcanza temperaturas interiores de hasta 20 °C para las épocas de friaje. Con esto se consigue mejorar la calidad de vida de los habitantes de las zonas de friaje y se consigue reutilizar un residuo agrícola abundante.

Palabras clave: vivienda térmica, Ecotect, friaje, cascarilla de arroz, aislamiento térmico.

ABSTRACT

In the present study, the thermal analysis of a traditional house located in the town of Huancas, in Chachapoyas, Amazonas region, Peru was carried out and modifications were proposed to improve the thermal comfort inside the house. For this, the Ecotect simulation software was used, in which the climatological data of the area and location coordinates were entered. The house was modeled according to the measurements of lengths, construction materials, rooms distribution and the thermal performance of the house was analyzed for its initial conditions. The simulation showed temperature conditions outside the range of thermal comfort, the interior temperature in the house, in cold seasons, reaches 13 ° C. To repair this situation, an analysis of the shade range of the house was carried out and the optimal orientation angle was obtained for better use of solar radiation. Another passive measure was the incorporation of insulating materials in the walls of the house. The use of commercial materials such as glass wool or expanded polystyrene increased the interior temperature to 18 ° C. Likewise, it was decided to use materials from the area such as pine wood and rice husk, achieving interior temperatures of up to 18 ° C with the latter. Finally, the use of adobe is discarded, as it has low thermal insulation properties and the use of walls made of pine wood, rice husk and expanded polystyrene is proposed, with which interior temperatures of up to 20 ° C are reached for cold periods. With this, it is possible to improve the quality of life of the inhabitants of cold areas and it is possible to reuse an abundant agricultural residue.

Keywords: thermal housing, Ecotect, cold season, rice husk, thermal insulation.

I.- INTRODUCCIÓN

La geografía sudamericana está muy marcada por la cordillera de los andes, una cadena de montañas que altera de forma muy particular las condiciones atmosféricas en esta región. Es así que las poblaciones asentadas sobre la cordillera de los andes sufre anualmente de bajas temperaturas. Las olas de frío en las zonas andinas, nacen en La Patagonia y avanza a lo largo de la cordillera hasta la selva central y norte de Perú, pasando por Chile, Paraguay, Argentina, Bolivia y el mismo Perú. Estos fenómenos naturales producen pérdidas económicas debido al deceso de ganado, pérdida de sembríos, así como también pérdidas humanas.

El Perú al ser un país andino presenta en su geografía zonas que son periódicamente azotadas por olas de friaje, sobre todo en las zonas alto andinas. Estos fenómenos naturales en los últimos años han ocasionado pérdidas a nivel de infraestructura, de ganado e incluso pérdidas de vidas humanas a causa de las enfermedades originadas a partir de estas condiciones meteorológicas (Agencia EFE, 2018).

Los fenómenos de friaje no son acontecimientos de los últimos años, si no que han existido a lo largo de la historia en las zonas altoandinas, es por ello que las civilizaciones que han habitado estas locaciones han construido sus viviendas de tal manera que puedan contrarrestar los azotes de estos fenómenos naturales, empleando materiales de la zona, y tecnología aprendida de manera empírica a lo largo de los años. Sin embargo, esto no ha sido suficiente, pues tanto a nivel de Perú, como de los demás países andinos, los estragos del friaje han demostrado cada año, con consecuencias fatales, que, a nivel estructural, las viviendas construidas de manera tradicional en las zonas altoandinas son ineficaces para prestar condiciones térmicas y salvaguardar la integridad de los habitantes durante las temporadas de friaje.

En la localidad de Huancas, las viviendas están construidas con materiales y técnicas tradicionales. La estructura de las viviendas ha sido edificada utilizando material de la zona, esto es adobe, piedra y madera. De acuerdo a lo visto en las viviendas visitadas, están cuentan con cielo raso, lo cual ayuda a mantener el

aislamiento térmico de las habitaciones, sin embargo, se ha notado deficiencias en la hermeticidad entre el techo, puertas, ventanas y las paredes, así como la existencia de puentes térmicos originados por las maderas y piedras utilizadas.

Hacer frente a esta situación implica la atención al aspecto de infraestructura, el cual es fundamental para solucionar el problema de friaje en las zonas alto andinas. Mediante un diseño que tenga en cuenta las condiciones de confort humano, las condiciones meteorológicas de la zona, el tipo y disponibilidad de los materiales de construcción, así como el factor económico se puede establecer un diseño de vivienda térmica que mejore la calidad de vida de los pobladores de estas regiones.

Teniendo en cuenta aspectos de ingeniería, conocimientos empíricos que han adquirido los pobladores de estas zonas por cientos de años, y utilizando técnicas modernas de modelamiento computarizado para simular el comportamiento de las variables externas e internas de la edificación que intervienen en el confort térmico de una vivienda se diseñara una vivienda térmica para zonas de friaje.

En la provincia de Chachapoyas de la región amazonas existen centros poblados y caseríos que presentan temperaturas muy bajas, sobre todo en épocas de invierno. En este sentido, para la presente investigación, se ha optado por realizar el diseño mediante modelamiento computacional para el distrito de Huancas, en la provincia de Chachapoyas (Amazonas), el cual es un distrito cuyas temperaturas descienden hasta los 10 °C en épocas de invierno, de acuerdo con la base de datos *Prediction Of Worldwide Energy Resources* (POWER) de la NASA.

En este contexto en el presente proyecto de investigación formulamos el problema de aplicar el modelamiento computacional en el diseño de una vivienda térmica para zonas de friaje, localizadas en la provincia de Chachapoyas, Perú.

A nivel tecnológico, el presente estudio se justifica por el hecho de que el resultado obtenido puede ser aplicado a cualquier zona de friaje de nuestro país, el cual es frecuentemente azotado por olas de friaje, sobre todo en zonas alto andinas. El procedimiento seguido y documentado a lo largo de la tesis puede ser adaptado de acuerdo a las condiciones de la locación geográfica y a los materiales disponibles.

El modelamiento estructural para la construcción de viviendas se justifica económicamente pues, utiliza las técnicas de construcción y propiedades de los materiales existentes en la zona, los adapta y aplica las mejoras necesarias para conseguir las mejores prestaciones térmicas de la vivienda. De esta manera se consigue un ahorro económico en la construcción de la vivienda.

Desde el aspecto social, el estudio está justificado en el beneficio que reciben los pobladores que habitan en zonas de friaje, ya que ingenieros, empresas, contratistas, instituciones involucradas en el ámbito de vivienda, construcción y saneamiento, cuentan con una propuesta de modelamiento para la construcción de viviendas térmicas en zonas de friaje.

Teniendo en cuenta la problemática y las justificaciones de la presente tesis, se obtuvo un objetivo general que es modelar de manera estructural la construcción de viviendas térmicas en la localidad de Huancas, Chachapoyas, Amazonas. Asimismo, objetivos específicos: 1) Determinar las condiciones climáticas para la zona de friaje en la provincia de Chachapoyas, 2) Modelar la vivienda construida bajo condiciones iniciales y bajo condiciones mejoradas de confort térmico, y 3) Realizar una propuesta de construcción de vivienda térmica para la zona de friaje.

De acuerdo a la bibliografía revisada, el marco teórico consultado, antecedentes atendidos se prevé la factibilidad del modelamiento estructural de la construcción de una vivienda térmica en la localidad de Huancas, Chachapoyas, Amazonas.

II.- MARCO TEÓRICO

De acuerdo con Molina-Fuertes (2020), en su investigación “Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar”:

Evaluó experimentalmente el desempeño térmico de un Módulo Experimental de Vivienda (MEV), construido en la región Alto Andina, mediante la valoración sistemática de doce configuraciones de operatividad diferentes, desde el manejo nocturno de contraventanas hasta actividad humana, uso de cocinas a gas y uso de dos sistemas de calefacción solar activos. Este objetivo se fundamentó en las mediciones de temperatura y humedad, considerando la primera como el parámetro principal de análisis térmico para verificar el desempeño térmico del MEV mediante la variación de la temperatura interior respecto al exterior, según la configuración del MEV dado que la variación entre la temperatura diaria promedio interior y exterior muestra la eficacia de las estrategias de calentamiento o enfriamiento. En base a ello, los incrementos de temperatura en el interior del MEV, considerando una operatividad concienzuda de sus técnicas bioclimáticas implementadas, son del orden de 9,5 °C en promedio y, de hasta 16,6 °C en horas críticas de la madrugada respecto a la temperatura exterior de -7,1 °C a las 6 a.m. El estudio se complementa con simulaciones térmicas dinámicas utilizando el software *EnergyPlus* apoyado del entorno gráfico en 3D *SketchUp*, e interfaz *OpenStudio* para determinar la temperatura interior y validarlo con la temperatura interior real medida. Los resultados muestran un buen acuerdo entre la simulación y los datos experimentales, con un error cuadrático medio de 15 y 16 % en los ambientes del MEV. (p.1)

A nivel de posgrado, la tesis de maestría de Flores (2018) "*Simulación del desempeño térmico en viviendas altoandinas sostenibles con climatización pasiva en la provincia de El Collao*", se basó en el método de balance de energía para lograr que la temperatura en el interior de la vivienda altoandina sea cálida y sostenible, mediante el uso del programa de simulación energético *Energy Plus*, haciendo énfasis en modelos matemáticos de la evaluación en los procesos de transferencia de calor. Se realizó el análisis de la simulación del desempeño térmico de la vivienda altoandina sostenible propuesta, obteniendo la temperatura de la zona térmica en promedio mínimas y promedios máximos de 11 °C y 17,7 °C respectivamente, para una temperatura promedio mínima exterior de 2,23°C.

Saavedra (2014), en su tesis de pregrado "*Diseño, construcción y evaluación térmica de un módulo de vivienda rural en la localidad de Vilcallamas Arriba, distrito de Pisacoma, provincia Chucuito, región Puno*" diseñó, construyó y evaluó una vivienda alto andina que elevó su temperatura media interior optimizando la captación de la radiación solar, el almacenamiento de calor y minimizando las pérdidas térmicas. Utilizando la elevada cuota energética de radiación solar diaria y la inercia térmica de la envolvente de adobe en las viviendas se puede mejorar las condiciones térmicas de habitabilidad de las viviendas, alcanzando temperaturas mínimas de 10°C en promedio. Se evaluó térmicamente una vivienda típica en la localidad para establecer los parámetros base de diseño durante un año en periodos intermitentes no menores que un mes, se utilizó criterios de arquitectura bioclimática como la orientación de las fachadas respecto al movimiento solar, áreas máximas de transmisión solar al interior, distribución de muros de adobe almacenadores y disminución de pérdidas sea por envolvente o infiltraciones. Mediante el uso del programa de simulación térmica de edificaciones, EnergyPlus, se evaluó cuantitativamente el comportamiento térmico interior que producirían las siguientes variables constructivas: Reducción de infiltraciones, dimensionamiento de secciones de la envolvente transparente y/o traslucidos y aislamiento de la capa exterior de envolventes opacos. Construida la vivienda, se evaluó la temperatura, en diferentes puntos de la vivienda por un periodo de 2

meses con el fin de comprobar la mejora en el desempeño térmico y calibrar los parámetros de simulación para mejorar la herramienta de diseño.

Garín (2021), en su tesis de maestría “*Modelado y análisis térmico en viviendas MEVIR*” realizó un análisis termo-energético enfocado en la eficiencia energética de una tipología constructiva de vivienda de interés social (centrado en la envolvente), ver cómo inciden a nivel energético los distintos aspectos de diseño y construcción, así como también evaluar distintas medidas de eficiencia y mejoras planteadas. Como ejemplo para el estudio de esta tesis se considera una de las tipologías constructivas de mayor uso de MEVIR al momento, institución que en sus más de 50 años de vida ha brindado por encima de 30000 soluciones habitacionales en todo el país (Uruguay). La metodología adoptada para la evaluación del comportamiento térmico y energético de la vivienda de estudio en este trabajo es el método de simulación térmica. Se utiliza la herramienta CYPETHERM Eplus cuyo motor de cálculo es el EnergyPlus (versión 8.7), el cual es ampliamente utilizado a nivel internacional y permite realizar análisis energéticos y determinar cargas térmicas partiendo de una descripción del edificio. El proceso consiste en, inicialmente, el ingreso de la geometría seleccionada, así como los materiales constructivos, datos de variables meteorológicas (a través de los Años Meteorológicos Típicos disponibles, para las ciudades de Salto y Montevideo), ocupación de la vivienda, perfiles de uso, permeabilidad a las infiltraciones de elementos de la envolvente, entre otros aspectos. Asimismo, se definen los rangos de confort consideradores adecuados para la evaluación del nivel de confort. Todas las simulaciones se realizan manteniendo la vivienda en régimen de fluctuación libre, es decir, sin ningún medio de acondicionamiento térmico para mantener la vivienda dentro del confort. Evaluando las distintas propuestas de mejora se concluye que las principales medidas – es decir, aquellas que generan una mayor mejora en el confort para las viviendas – resultan el cambio de la solución de cubierta por una placa de poliestireno expandido, la incorporación de persianas en las aberturas del living-comedor y la reubicación de aberturas, favoreciendo su presencia en la fachada que apunta al norte y evitando la fachada hacia el sur.

En la tesis de pregrado de Ramírez (2020) “*Aprovechamiento de propiedades térmicas de materiales ancestrales usados en la construcción de edificios en Ecuador (adobe y caña guadua)*”. En esta investigación se determinó las propiedades térmicas de materiales ancestrales (adobe y caña guadua) para el acondicionamiento térmico de viviendas populares en Ecuador mediante la implementación de estrategias pasivas con el uso de un software que permita simular el comportamiento de una vivienda construida con estos materiales. Primero se elaboró el adobe de acuerdo con las prácticas empíricas utilizadas en el país y se seleccionó la caña guadua en función de la disponibilidad local. Después, se determinó de forma experimental el calor específico y la conductividad térmica, utilizando la técnica instrumental de la calorimetría diferencial de barrido (DSC). Posteriormente, se midió condiciones meteorológicas en la ciudad de Quito que fueron comparadas con datos históricos del INAMHI y con la base de datos del software *Design Builder®*. Las propiedades calculadas en el DSC fueron introducidas en el software, a continuación, se modela una vivienda con paredes que incluya concreto convencional y materiales ancestrales mencionados, luego se simula la transferencia de calor entre el exterior y el interior de una vivienda mediante balances de energía y se obtiene la temperatura interna modificando el espesor y el tipo de material. Con el fin de evaluar el desempeño térmico, los valores de temperatura interna obtenidos fueron contrastados con temperaturas de confort especificadas en la Norma ASHRAE 55-2017. Los resultados arrojaron que los materiales ancestrales podrían reemplazar, en términos de confort, a los convencionales porque su porcentaje de satisfacción térmico supera a los convencionales, en hasta un 94,23% para el adobe (sierra) y 41.92% para la caña guadua (costa).

Rodríguez y Gonzales (2020) en su artículo científico "*Evaluación por simulación dinámica del comportamiento térmico en una casa interés social con la incorporación de estrategias de arquitectura bioclimática en Guanajuato, México*", publicado en la revista Ingeniería Investigación y Tecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México evaluó una propuesta de arquitectura bioclimática para una vivienda de interés social típica en Guanajuato, México; modificando la inercia térmica de los materiales, la absorción y emisividad de la superficie (protección solar), así como un reacomodo de las superficies acristaladas (calentamiento solar pasivo). La evaluación energética se realizó mediante simulación dinámica en la plataforma OpenStudio®, se consideraron las condiciones climáticas del lugar, geometría de la edificación, propiedades de los materiales, horario de ocupación y cargas térmicas. Para fijar las variables de diseño de la propuesta se realizó una comparativa de la energía requerida por acondicionamiento electromecánico para mantener la temperatura entre 20°C y 27°C. Se obtuvieron como resultado, una reducción de 77 % de energía necesaria para el acondicionamiento térmico anual, además de tener una temperatura más estable en el transcurso del día y más equilibrada en los diferentes espacios que la componen.

De acuerdo con Agencia de Energía Internacional (2017), la radiación solar a través de las partes transparentes de la envolvente del edificio provoca una ganancia de calor del sol dentro del edificio. También hay flujos de calor procedentes de las personas, los equipos de trabajo y la iluminación. El diseño de un edificio nuevo y energéticamente eficiente no es posible sin la evaluación de los flujos de calor, que es la base para el desarrollo de los balances energéticos. Sobre la base de un balance energético es posible calcular las cargas óptimas de calefacción y refrigeración de los equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). La intención general es disminuir esas cargas tanto como sea posible y lograrlo de una manera rentable.

El balance energético es la suma de todas las ganancias y pérdidas de calor. Las ganancias de calor son, por ejemplo, el calor solar en el edificio o a través de las ventanas, además del calor de la iluminación, los aparatos y las personas. Las pérdidas de calor son las pérdidas de calor a través de la envolvente del edificio (si la temperatura exterior es inferior a la interior), las pérdidas de calor por ventilación y fugas de aire. Cuando las pérdidas superan las ganancias, se necesita una carga de calefacción. Cuando las ganancias son mayores que las pérdidas, se requiere una carga de refrigeración (RENAC, 2020).

El modelado por computadora del balance energético comienza con la recopilación de datos mediante un análisis de escritorio de la documentación y una auditoría en el sitio. La calidad de los datos recopilados es más decisiva para obtener un balance energético fiable que los métodos de cálculo que se aplican (International Energy Agency, 2017).

La temperatura local y las altas diferencias de temperatura entre el día y la noche, la humedad y la luz natural ambiental, y la irradiación solar son los principales factores climáticos que se deben tener en cuenta para el diseño de los edificios y el desarrollo de los códigos de construcción. Sin embargo, las precipitaciones (en particular, las lluvias intensas) y el movimiento del aire también son importantes en algunas regiones para el diseño del drenaje superficial (techos, áreas pavimentadas, alcantarillas y bajantes). Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura exterior e interior, mayor será la energía necesaria para la calefacción o refrigeración. La luz solar que ingresa al edificio a través de las ventanas, la energía residual de los aparatos y del calor corporal reduce la carga de calefacción, pero aumentan la carga de refrigeración. Sin embargo, la luz solar siempre reduce el uso de energía para la iluminación. La humedad en climas cálidos aumenta las cargas de aire acondicionado para prevenir daños por humedad en la construcción de edificios y en los equipos instalados (RENAC, 2020).

De acuerdo con Been (2013), el aumento de la integridad térmica de la envolvente del edificio es un factor clave para reducir el consumo de energía. En climas fríos, la mejora del aislamiento es el principal factor para reducir la carga de calefacción en un 20-30 %. Lamentablemente, el aislamiento térmico en climas cálidos está subestimado, pero puede lograr una reducción del 10-30 % en la carga de refrigeración. El uso insuficiente de la luz natural debido a errores en el diseño del edificio podría aumentar el uso de energía para la iluminación hasta en un 75 %.

Los códigos de construcción están diseñados con respecto a las zonas climáticas. Los parámetros principales para una zona climática en particular son los grados-días de calefacción (HDD) y los grados-días de refrigeración (CDD), que reflejan la diferencia entre la temperatura de confort predefinida dentro del edificio (zona de confort) y la temperatura exterior para un día. Si este último es más alto, se necesita refrigeración, si es más bajo, se necesita calefacción. La percepción de la temperatura de confort varía de un país a otro (BizEE Software Limited, 2018).

Aislar una casa ofrece varios beneficios, como la reducción de los costos de calefacción y refrigeración, y un entorno más confortable, así como la disminución de las emisiones de carbono. Especialmente en los climas más fríos, se debe considerar muy bien el aislamiento. No obstante, también se necesita aislamiento en condiciones climáticas calurosas o tropicales, en particular si se utiliza algún tipo de refrigeración mecánica (RENAC,2020).

Cuando se considera el aislamiento, suele ser necesario mirar las partes de la estructura del edificio como el techo, las paredes, las ventanas y las puertas, y la planta baja. Aislar adecuadamente los edificios existentes es más difícil que aislar los edificios nuevos durante su construcción. La elección de materiales y sistemas aislantes no es una tarea fácil y se deben considerar algunas cuestiones cruciales: Rendimiento térmico, longevidad y durabilidad, La energía incorporada del material: cuanto más bajo, mejor. Costos: aquí hay que considerar muchas variables diferentes; la intención es tener un retorno de la inversión (ROI) rápido a través del ahorro de energía, facilidad de instalación, resistencia al fuego (RENAC, 2020).

Si durante la planificación se tienen en cuenta aspectos de la aislación térmica (como el cumplimiento con los requisitos mínimos de aislación térmica, el diseño adecuado de los espacios herméticos y la eliminación de los puentes térmicos), se pueden evitar en gran medida las pérdidas de calor a través de la envolvente del edificio. Además, una aislación térmica adecuada protege de la humedad y los daños que esta conlleva (RENAC, 2020).

La simulación energética es un proceso analítico basado en computadora que ayuda a los propietarios y diseñadores de edificios a evaluar el rendimiento energético de un edificio y hacerlo más eficiente energéticamente al realizar las modificaciones necesarias en el diseño antes de que se construya el edificio. Técnicamente, es el proceso de usar una computadora para construir una réplica virtual de un edificio. En términos simples, el edificio se construye a partir de sus componentes en una computadora y se realiza una simulación tomando ese edificio a través de las condiciones climáticas de todo un año. En cierto modo, la simulación de edificios es una forma de predecir cuantitativamente el futuro y, por lo tanto, tiene un valor considerable. La simulación de edificios se divide comúnmente en dos categorías: diseño de carga y análisis energético. La frase común para la simulación de edificios cuando se trata de energía es el modelado energético (ECBC, 2020).

El diseño de carga se utiliza para determinar: Cargas de aire acondicionado (la cantidad de energía de refrigeración / calefacción que necesita un espacio / sistema / edificio), requisitos de flujo de aire volumétrico (la cantidad de aire necesaria para enfriar / calentar un espacio), capacidades del equipo (dado que el equipo puede acondicionar múltiples espacios), temperaturas de suministro, similitudes y diferencias entre las opciones de equipos para calentar y enfriar un espacio (Energy-Models, 2013).

El análisis energético o el modelado energético se utilizan para: predecir el consumo de energía y las facturas mensuales, predecir el costo energético anual, emisiones anuales de CO₂, comparar y contrastar diferentes opciones de eficiencia, determine la recuperación del ciclo de vida en varias opciones (Energy-Models, 2013).

III.- METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación:

Tipo de investigación:

Según la finalidad, se trata de una investigación aplicada porque busca obtener nuevos saberes técnicos con aplicaciones inmediatas a problemas específicos (Córdova, 2013).

Diseño de investigación:

De acuerdo a las simulaciones realizadas, en las cuales se va a modificar las variables de diseño del modelo estructural de la vivienda, hasta conseguir el confort térmico en la vivienda, entonces el diseño de la investigación es experimental. Debido a que se ha tenido una referencia para la modificación de las variables de diseño, entonces se ha tratado de un diseño experimental puro.

Enfoque de investigación:

De acuerdo con Sampieri (2014), el enfoque de la investigación ha sido cuantitativo, ya que se han utilizado la recolección de datos que han sido obtenidos de las bases de datos y como resultado de las simulaciones, para de esta manera probar la hipótesis, haciendo uso de la medición numérica.

3.2. Variables y Operacionalización:

Variable cuantitativa I:

Modelamiento: El modelamiento es el uso de computadoras para simular y estudiar sistemas complejos utilizando las matemáticas, la física y la informática

Variable cuantitativa II:

Vivienda térmica: Son viviendas construidas para contrarrestar el frío, en base a la orientación, uso de materiales y recursos energéticos disponibles.

La operacionalización de variables se presenta en el Anexo 3.

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis:

Población:

La población han sido las viviendas ubicadas en zonas de friaje altoandinas.

Muestra:

Para la presente investigación ha sido una vivienda unifamiliar ubicada en la localidad de Huancas, en la Provincia de Chachapoyas, región Amazonas, Perú.

Muestreo:

La investigación se ha realizado para la localidad de Huancas, en la provincia de Chachapoyas (Amazonas, Perú) por la razón de que esta es una zona de friaje, así como por cuestiones logísticas y disponibilidad. Debido a esto, la técnica de muestreo es dirigida o no probabilística.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Técnicas

En el desarrollo de la investigación se utilizó las siguientes técnicas para la recolección de datos.

- **Observación participante y no participante:** Utilizada durante la inspección de campo que se realizó a la vivienda para constatar su ubicación y materiales de construcción, medición de longitudes. También se aplicó esta técnica cuando se realizó las simulaciones en el software Ecotect de Autodesk.
- **Sistematización bibliográfica:** Se empleó esta técnica cuando se recolectó los datos climatológicos de la zona de estudio desde repositorios de datos climáticos. Y también cuando se recolectó los datos de propiedades de los materiales propuestos a partir de la bibliografía disponible.

Instrumentos de recolección de datos

Como instrumentos se utilizó la ficha de observación y fichas de trabajo para la sistematización bibliográfica.

3.5. Procedimientos:

En el presente trabajo de investigación se determinó las condiciones climáticas para la zona de friaje en la provincia de Chachapoyas, posteriormente se modeló la vivienda construida bajo condiciones iniciales y bajo condiciones mejoradas de confort térmico; y finalmente se realizó una propuesta de construcción de vivienda térmica para la zona de friaje en estudio.

Paso N°1: Determinación de condiciones climáticas

Para la determinación de las condiciones climáticas de la zona de estudio se recurrió a repositorio de datos climáticos de organismos internacionales dedicados al estudio de la eficiencia energética en edificaciones como la Climate One Building (<http://climate.onebuilding.org/>), en la cual se dispone de datos climáticos para softwares de simulación como Energy Plus, DaySim, Ecotec, entre otros.

Paso N°2: Modelamiento de vivienda en Ecotect

Los datos constructivos iniciales, necesarios para la simulación, como son las dimensiones de la vivienda, distribución de espacios, orientación, tipos de materiales se recolectaron durante la inspección de campo que se realizó. Se determinó su ubicación por coordenadas GPS, así como también se realizó la medición longitudinal de las dimensiones de la vivienda, puertas, ventanas, techos, espesores de paredes, alturas, etc. Se empleó equipos de medición estandarizados como winchas y receptor GPS.

Paso N° 3: Elaboración de propuesta de construcción de vivienda térmica

En el software de simulación Autotect de Autodesk, se manipuló las variables realizando modificaciones de tipo estructurales, de orientación, tipos de materiales constituyentes, entre otros; de tal manera que se obtenga el confort térmico deseado. Las propiedades de los nuevos materiales propuestos se obtuvieron a partir de la bibliografía disponible y a partir de las librerías del mismo software de simulación.

3.6. Método de análisis de datos:

Para el análisis de datos recopilados se aplicará lo siguiente:

- Registro manual y ordenado de dimensiones de la vivienda.
- Elaboración de planos en software Autocad a partir de los datos registrados manualmente.
- Elaboración de mapa de georreferenciación en plataforma Google Maps.
- Procesamiento de datos climáticos en software Autotec de Autodesk.
- Modelamiento estructural de vivienda en software Autotec.
- Simulación de vivienda en condiciones iniciales y condiciones térmicas mejoradas en software Autotec.

3.7. Aspectos éticos:

Se tendrán en cuenta todos los aspectos éticos involucrados en la realización de la investigación propuesta, en concordancia con el Código de Ética para la Investigación de la Universidad César Vallejo (aprobada con Resolución de Consejo Universitario N°126-2017/UCV), entre ellos el respeto a los derechos de autor, mediante la referenciación bibliográfica según normas ISO.

IV.- RESULTADOS

4.1. Determinación de las condiciones climáticas para la zona de friaje de la provincia de Chachapoyas

La localidad de Huancas en la provincia de Chachapoyas en la región Amazonas. Está localizada a 10 minutos de la ciudad de Chachapoyas, a una altitud de 2506 msnm. Tiene un total de 155 viviendas de acuerdo con el censo nacional del 2017. De acuerdo al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), sus temperaturas oscilan entre los 14 °C y 27 °C.

Para el presente estudio se utilizó los datos climáticos de la provincia de Chachapoyas, los cuales se tomaron del repositorio Climate One Bulding (<http://climate.onebuilding.org/>), el cual se dispone de datos climáticos de las principales ciudades del mundo para softwares de simulación de edificaciones como Energy Plus, DaySim, Ecotec, entre otros. Así también se tomó la data disponible en la estación meteorológica Chachapoyas del Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología del Perú (SENAMHI).

Los datos climatológicos, así como ubicación geográfica fueron insertados en el software Ecotect.

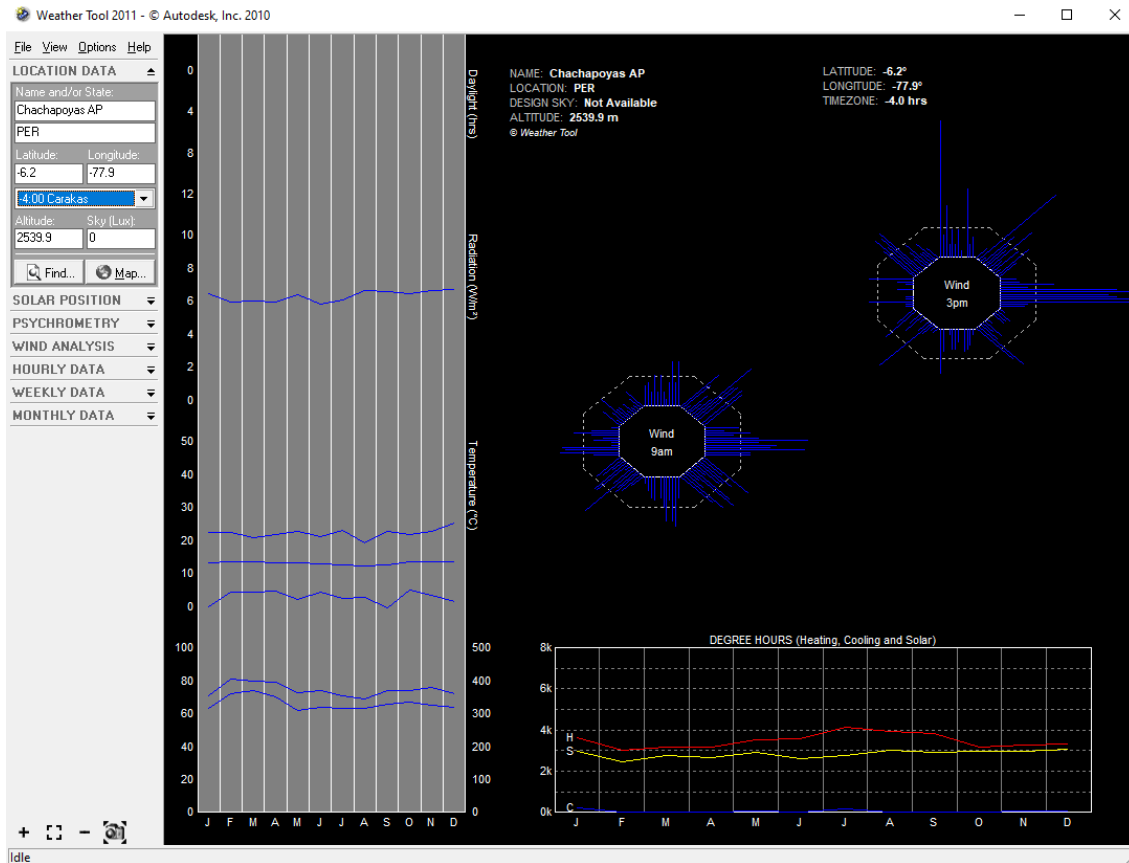


Figura 1: Actualización de datos climáticos y ubicación geográfica en el software Ecotec mediante herramienta Weather Tool

La herramienta Weather Tool del software nos permite insertar los datos climatológicos necesarios para las simulaciones, así como analizar dichos datos, y obtener graficas como las que se muestran a continuación.

Weekly Summary
Minimum Temperature (°C)
Location: Chachapoyas AP, PER (6.2° -77.9°)
Contour Range: 4.40 - 50.00 °C
In Steps of: 1.00 °C
© Weather Tool

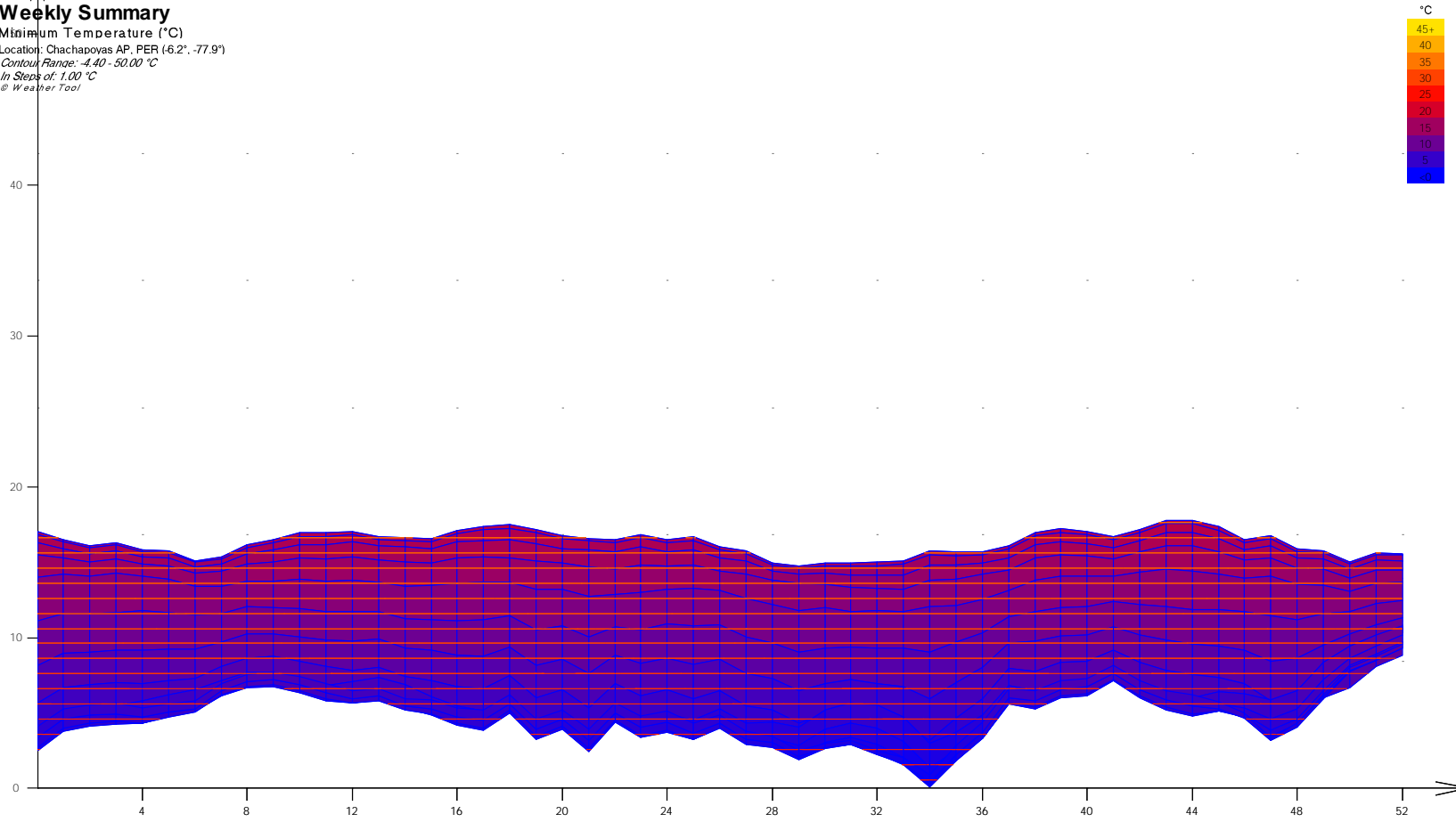


Figura 2: Temperaturas mínimas en la provincia de Chachapoyas

Como se puede apreciar las temperaturas más bajas se dan entre las semanas 34 y 35, lo que corresponde a los meses de julio y agosto.

Weekly Summary
Maximum Temperature (°C)
Location: Chachapoyas AP, PER (-6.2°, -77.9°)
Contour Range: 8.50 - 50.00 °C
In Steps of: 1.00 °C
© Weather Tool

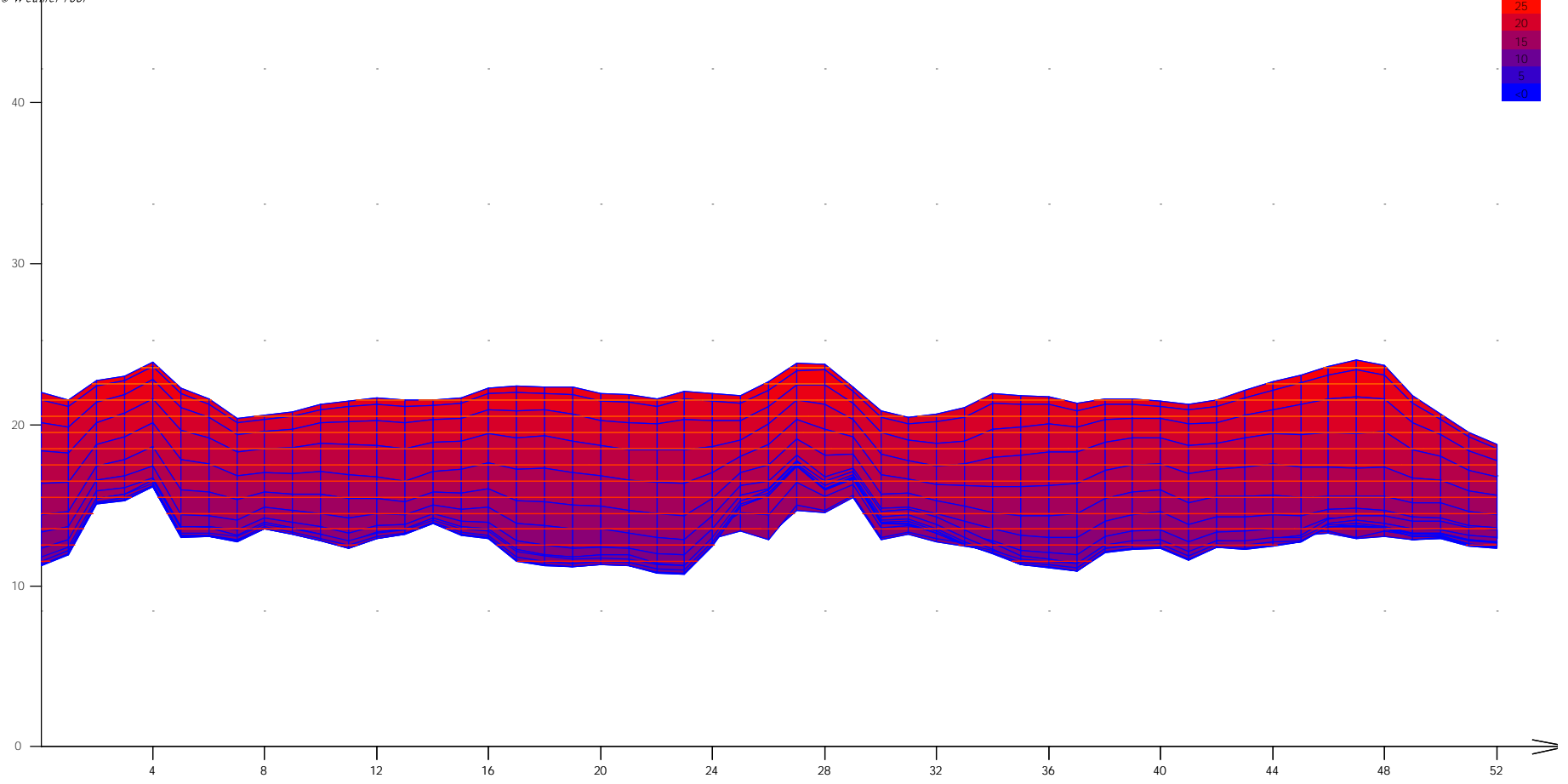
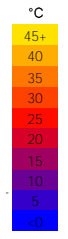


Figura 3: Temperaturas máximas en la provincia de Chachapoyas

Weekly Summary

Average Temperature (°C)

Location: Chachapoyas AP, PER (-6.2°, -77.9°)

Contour Range: 4.80 - 50.00 °C

In Steps of: 1.00 °C

© Weather Tool

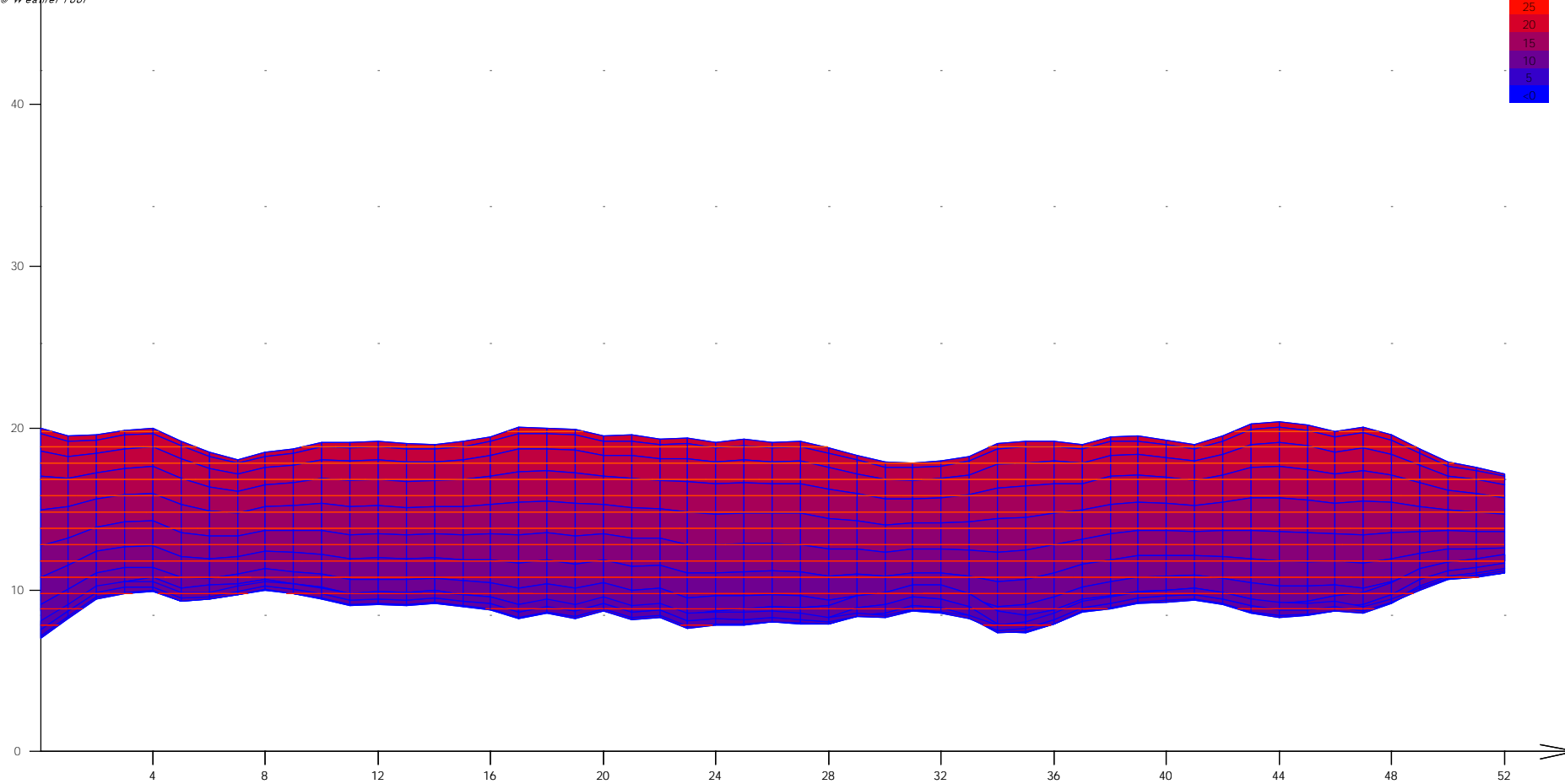


Figura 4: Temperaturas promedio en la provincia de Chachapoyas

Weekly Summary

Direct Solar Radiation (W/m^2)
Location: Chachapoyas AP, PER (-6.2°, -77.9°)
Contour Range: 0.00 - 1000.00 W/m^2
In Steps of: 20.00 W/m^2
© Weather Tool

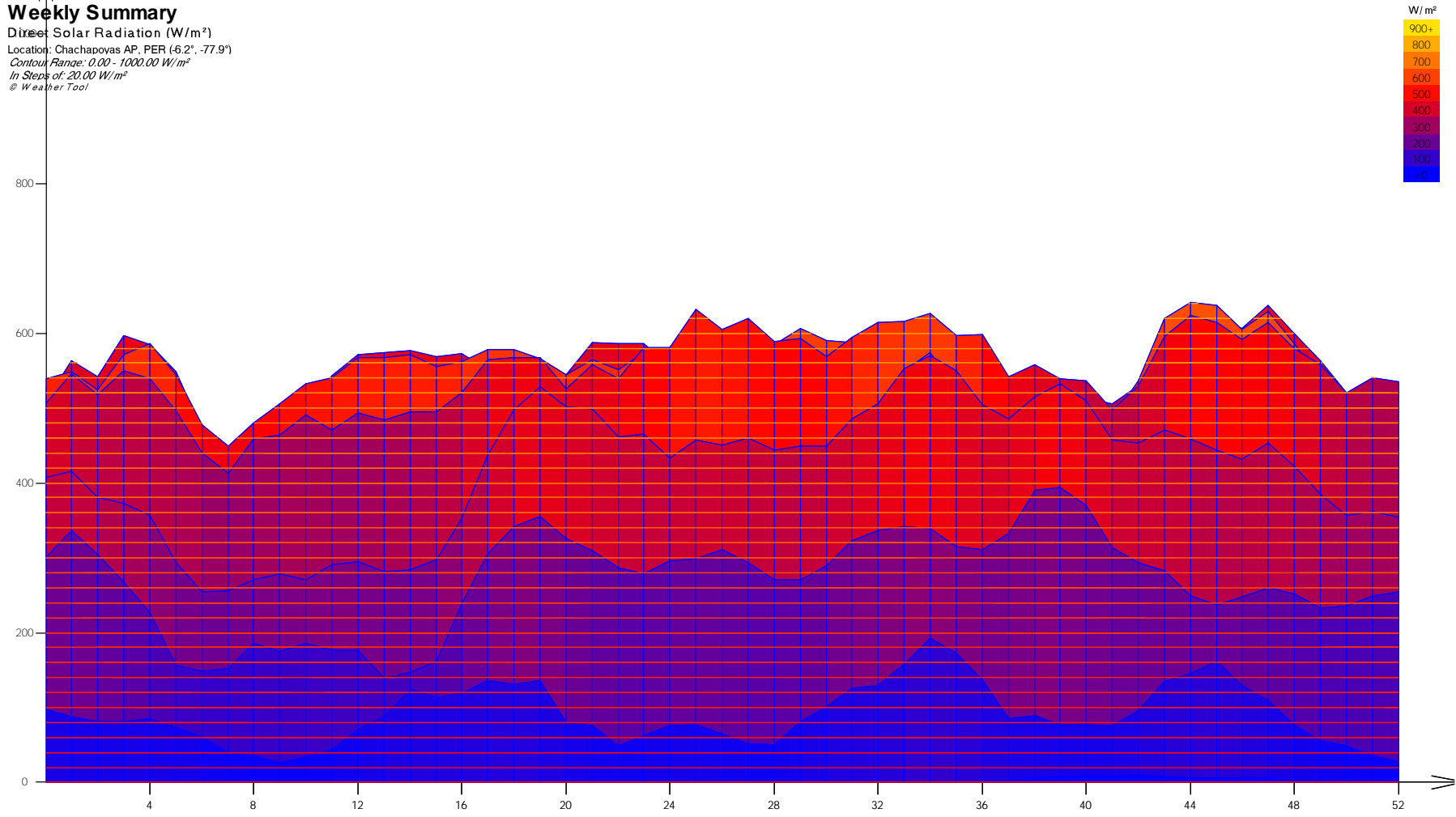


Figura 5: Radiación solar en Chachapoyas por semana

Weekly Summary

Relative Humidity (%)

Location: Chachapoyas AP, PER (-6.2°, -77.9°)

Contour Range: 50.00 - 100.00 %

In Steps of: 2.00 %

© Weather Tool

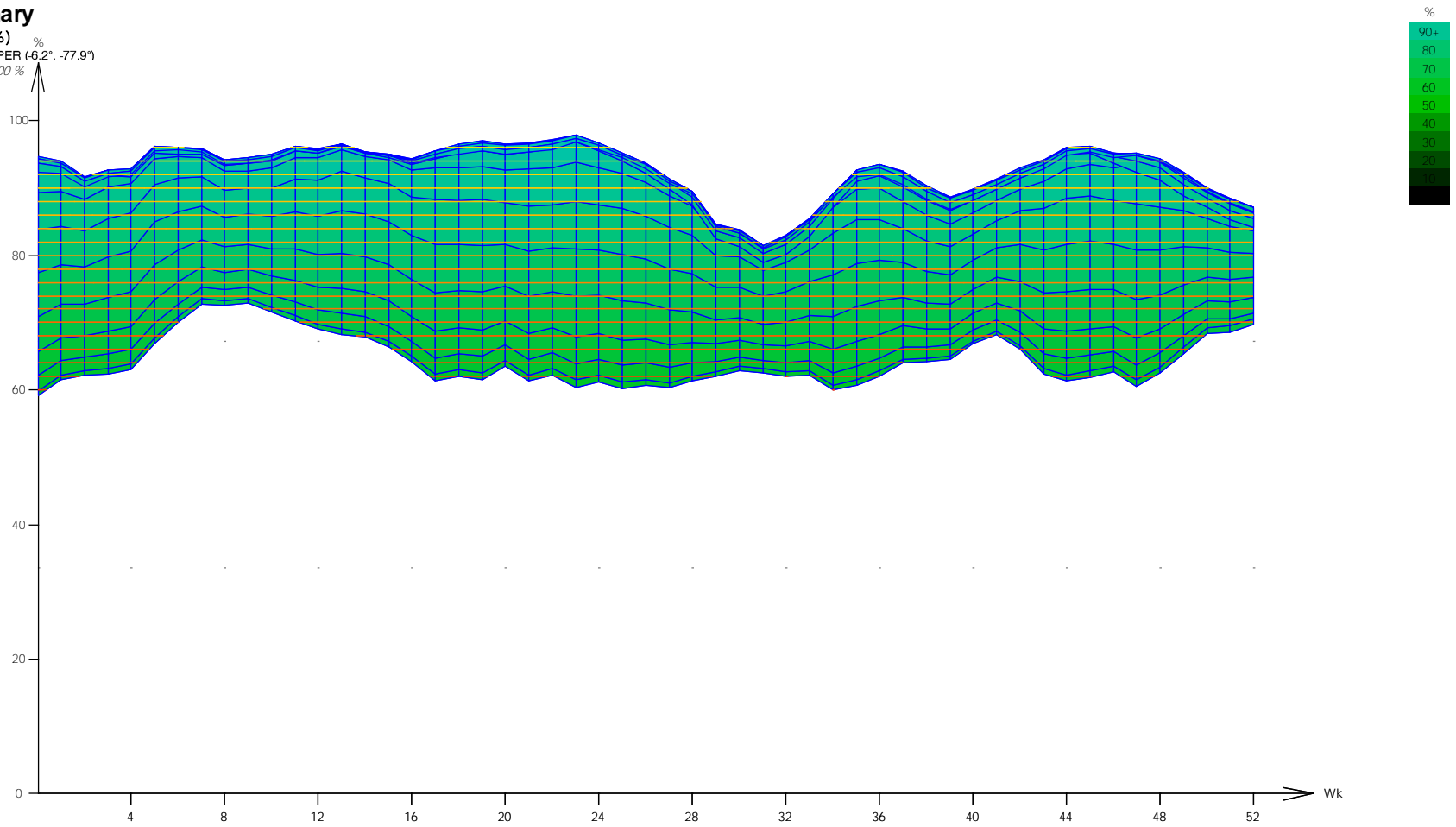


Figura 6: Humedad relativa en la provincia de Chachapoyas

Weekly Summary

Average Wind Speed (km/h)

Location: Chachapoyas AP, PER (-6.2°, -77.9°)

Contour Range: 0.00 - 50.00 km/h

In Steps of: 1.00 km/h

© Weather Tool

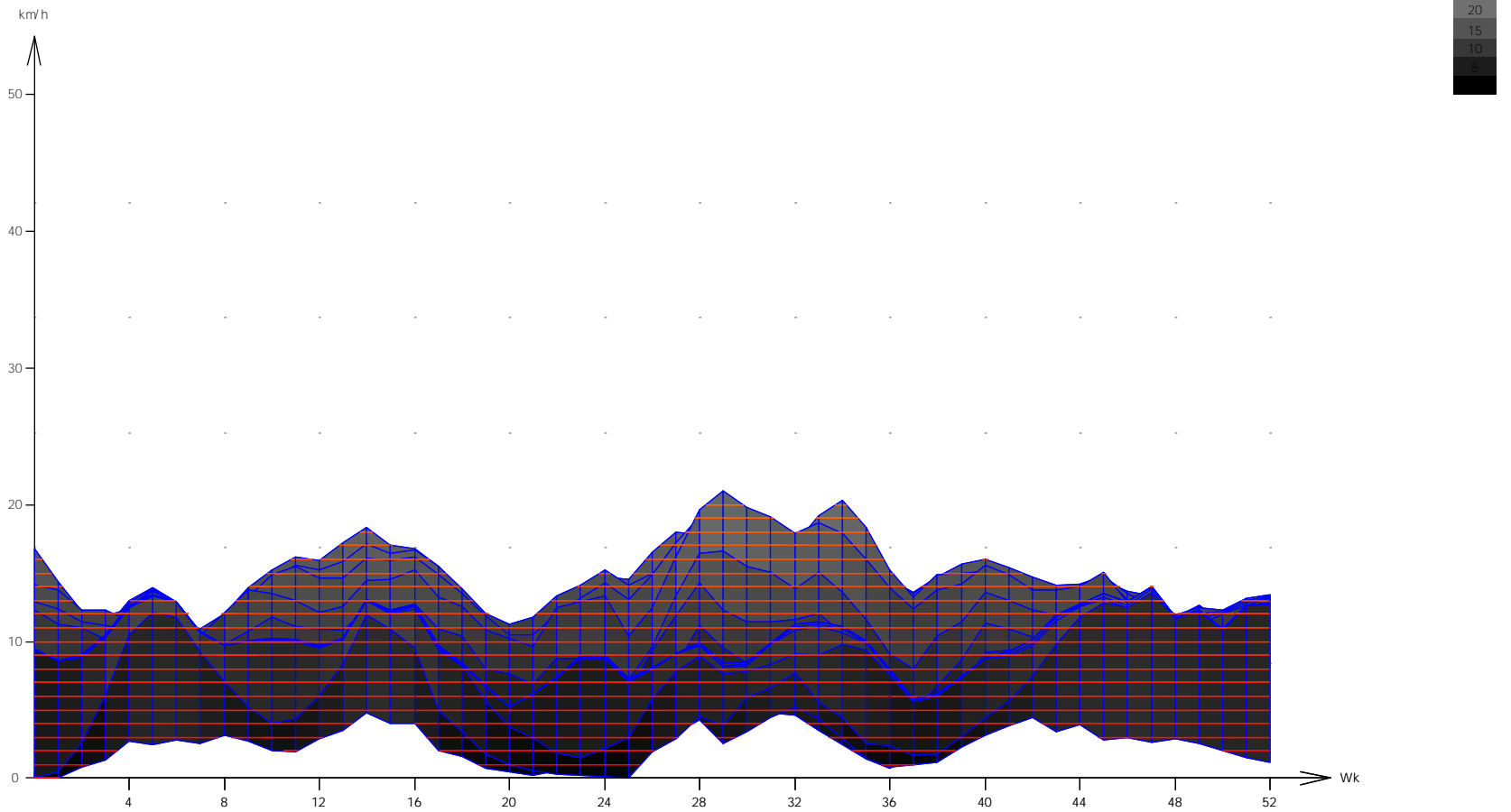


Figura 7: Velocidad del viento en la provincia de Chachapoyas, Amazonas

4.2. Modelamiento de vivienda

Para el modelamiento fue necesario tomar medidas longitudinales de la vivienda, como por ejemplo dimensiones de habitaciones, paredes, ventanas, puertas, techos, etc. Así como la inspección de los materiales. Posteriormente se realizó el modelamiento de la vivienda en condiciones iniciales, es decir tal y como está construida y posteriormente con las mejoras planteadas para conseguir el confort térmico en la misma.

4.2.1 Reconocimiento de vivienda

La vivienda seleccionada para el estudio se encuentra en la localidad de Huancas, a 10 minutos de la ciudad de Chachapoyas.

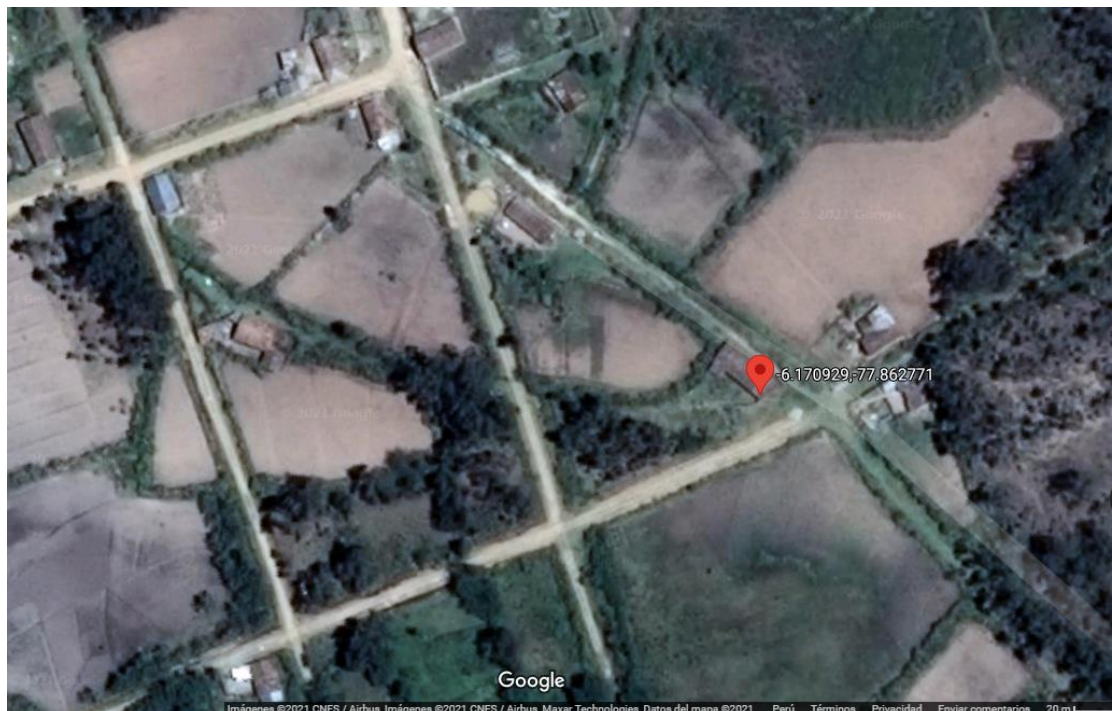


Figura 8: Ubicación de vivienda seleccionada para estudio.

Se realizó una visita de campo para el registro de medidas longitudinales de la vivienda e inspección de materiales utilizados en su construcción.



Figura 9: Registro de dimensiones de vivienda y constatación de materiales de construcción

Cabe mencionar que las dimensiones recogidas fueron plasmadas en planos que se adjuntan en los anexos de la presente investigación.

Como se puede observar la vivienda es una construcción típica de la zona, con paredes a base de adobe con una capa de revestimiento de barro. Posee un falso techo constituido por madera con una capa de barro. Las puertas y ventanas son de madera. Se puede apreciar que cuenta con baja hermeticidad, pues existe una luz considerable entre el techo de calamina y el falso techo.

4.2.2 Modelamiento de vivienda en condiciones iniciales

Con las dimensiones de la vivienda registradas se pasó a modelar la vivienda en el software Ecotect de Autodesk. Especificando las longitudes de paredes, techos, puertas, ventanas, tragaluz, entre otros.

Las medidas utilizadas fueron las obtenidas durante la visita técnica y que fueron plasmadas en los planos de anexo 4.

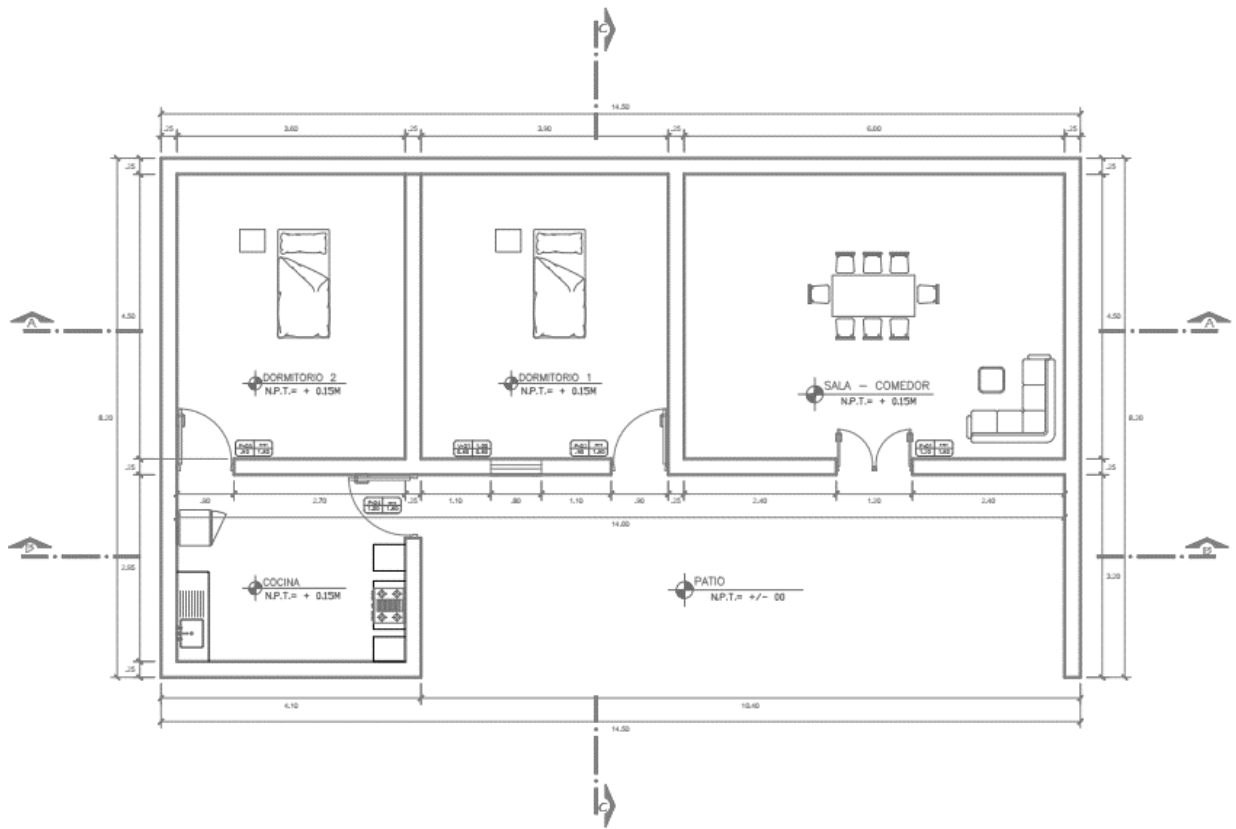


Figura 10: Vista de planta de vivienda. Ver anexo 3.

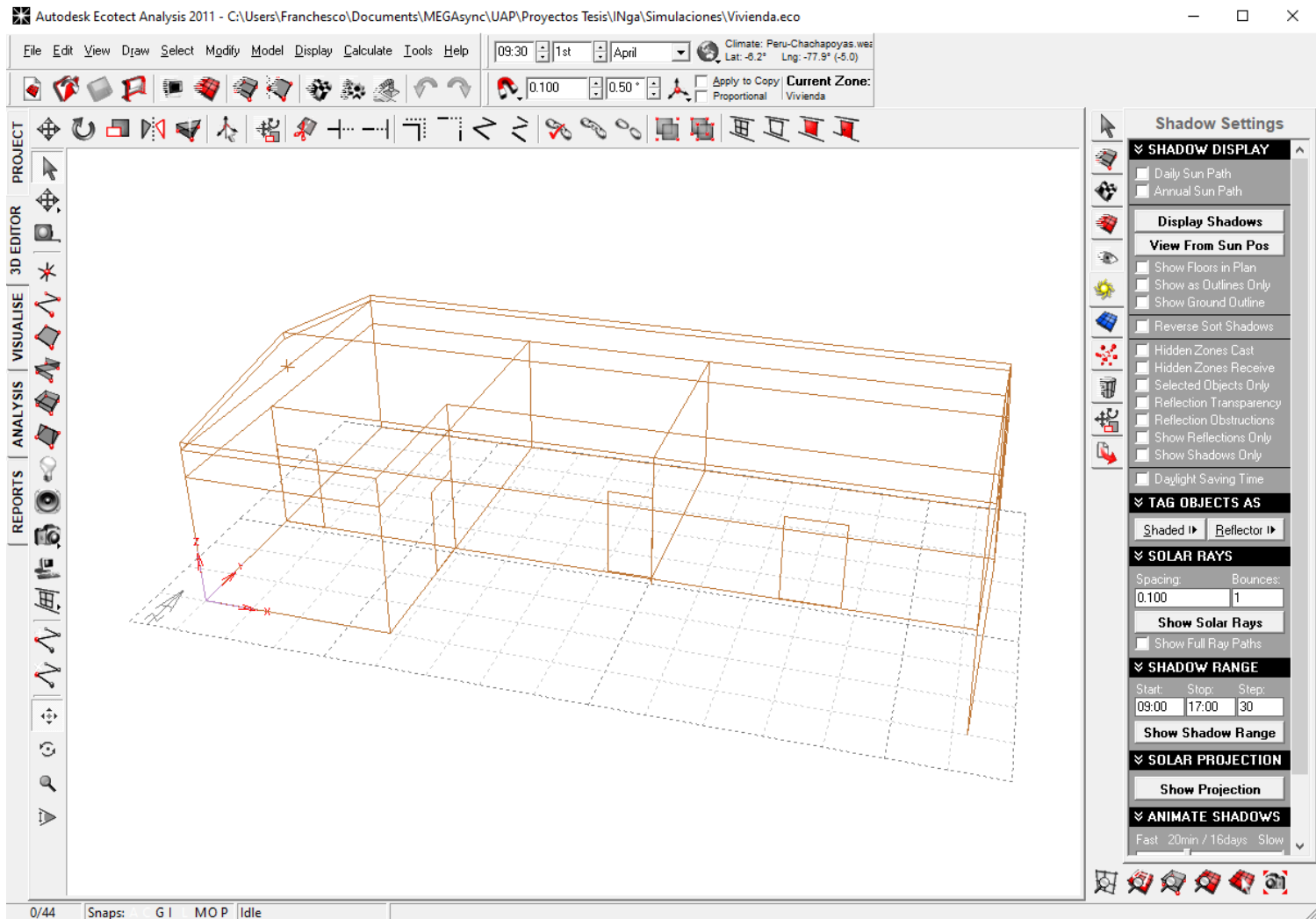


Figura 11: Modelamiento dimensional de viviendas en software Ecotect

Así mismo se procedió a configurar en el software los tipos de materiales para las paredes, techo, puertas y ventanas. Esto se realizó a partir de la librería de materiales con la que cuenta el software.

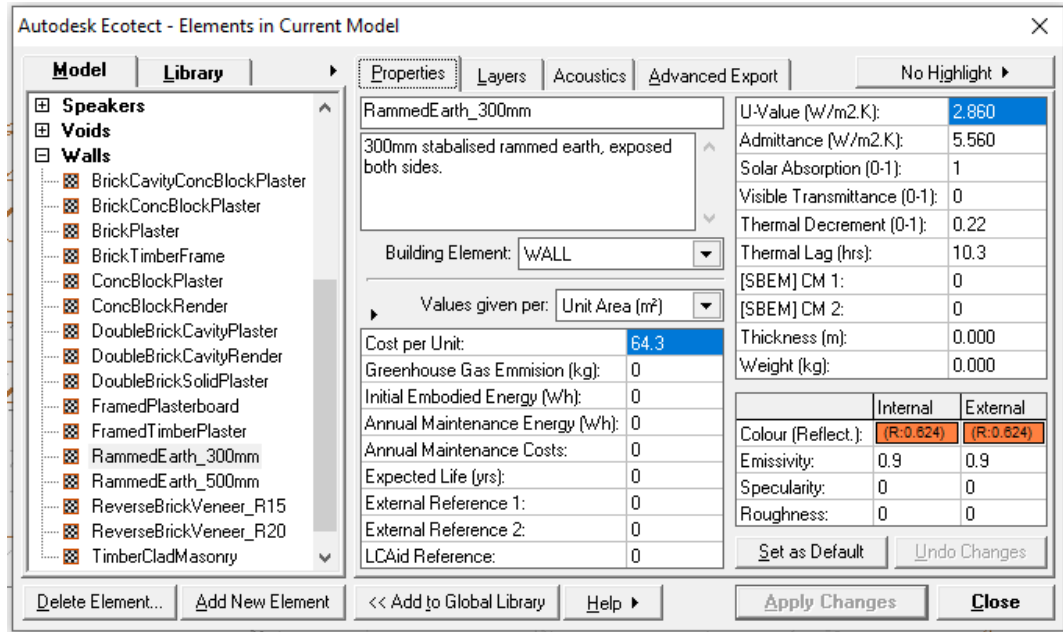


Figura 12: Configuración de material para paredes de vivienda

Se configuró el adobe como material constituyente de las paredes de la vivienda (ver Figura 12) y madera de pino que es la mayormente utilizada por ser un producto que se encuentra disponible en la zona (ver Figura 13).

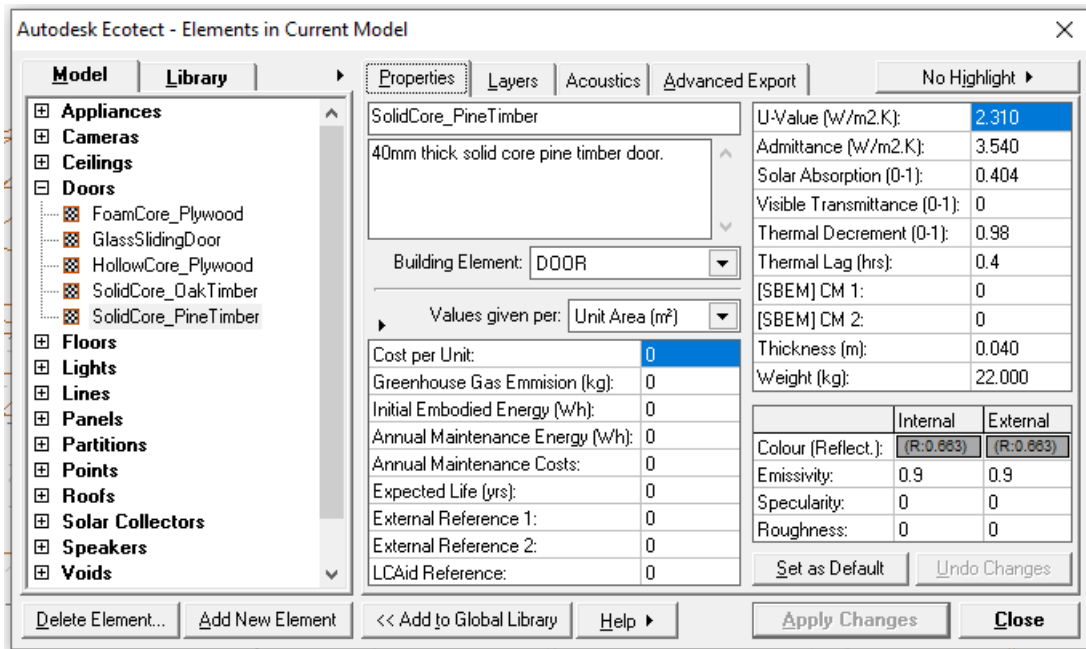


Figura 13: Configuración de material para puertas y ventanas de vivienda

Finalmente se obtuvo el modelo de la vivienda en las condiciones iniciales, es decir con las dimensiones, distribución de ambientes, aspectos constructivos y materiales con los cuales está construida la vivienda actualmente.

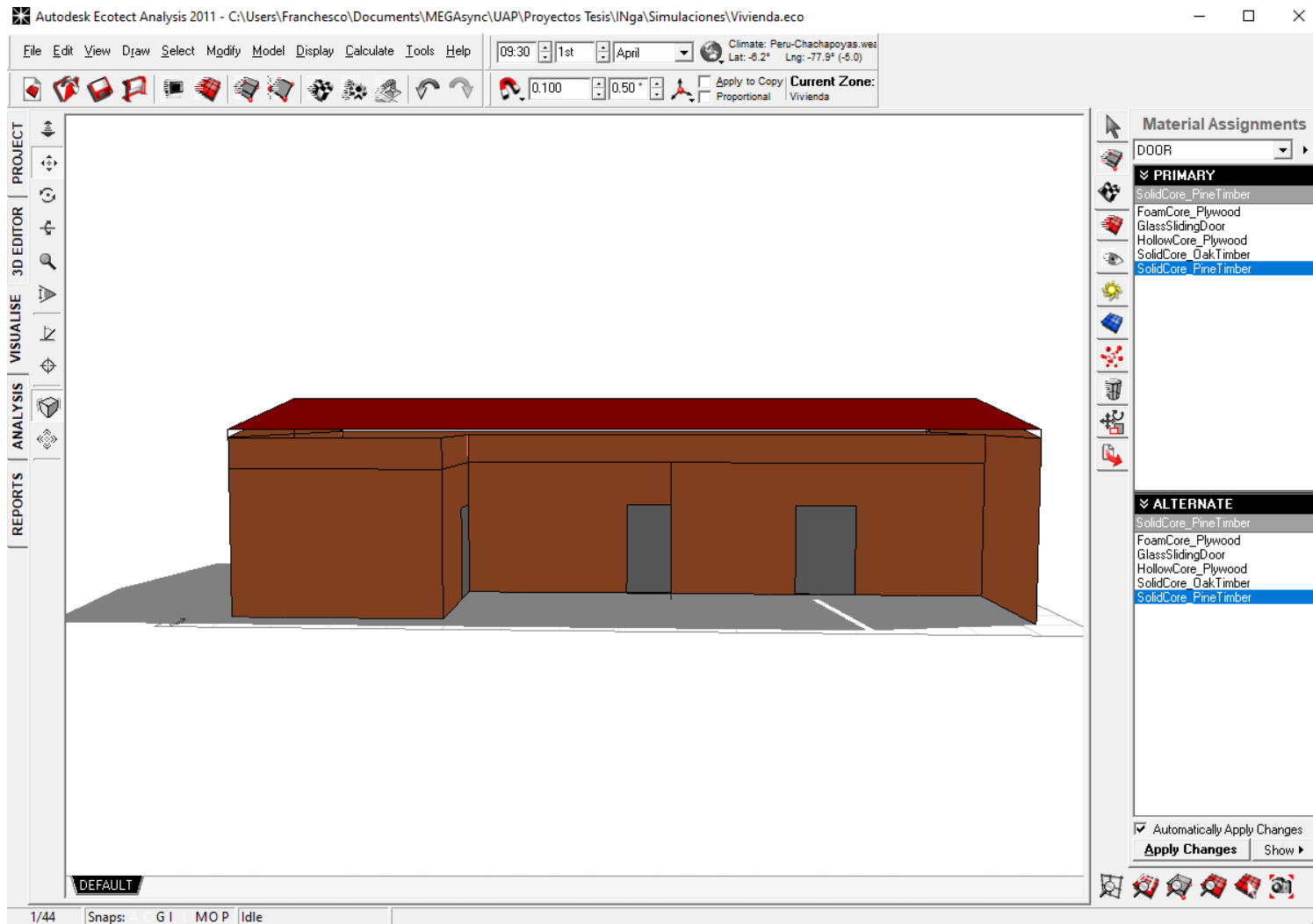


Figura 14: Modelo de vivienda típica de la localidad de Huancas, Chachapoyas en software Autotec

4.2.2.1 Análisis de sombras

El software Ecotect, permite realizar un análisis de las sombras a las que es sometida la vivienda a lo largo del día y durante todo el año, de acuerdo a su ubicación geográfica y orientación. Esto permite distribuir los espacios en la vivienda de tal manera que se aproveche la presencia o ausencia de sombras en la misma.

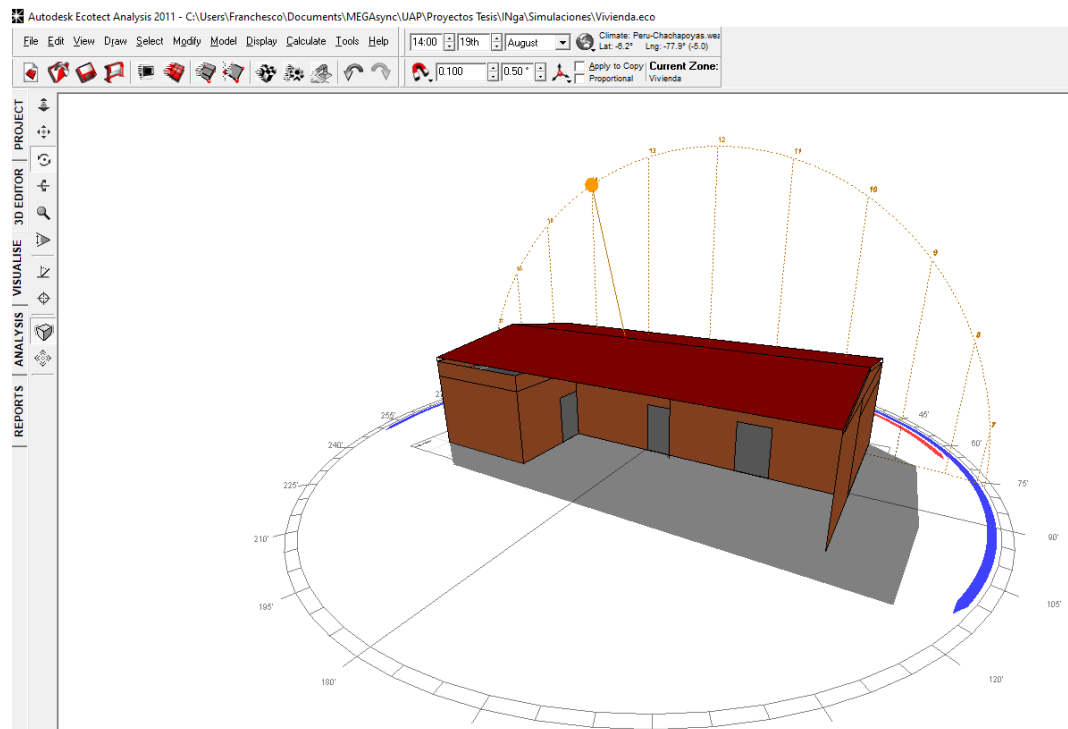


Figura 15: Generación de sombra en la vivienda para el día 19 de agosto a las 14 horas, de acuerdo con la ubicación geográfica de la vivienda y la rotación del sol para esa fecha y hora indicada.

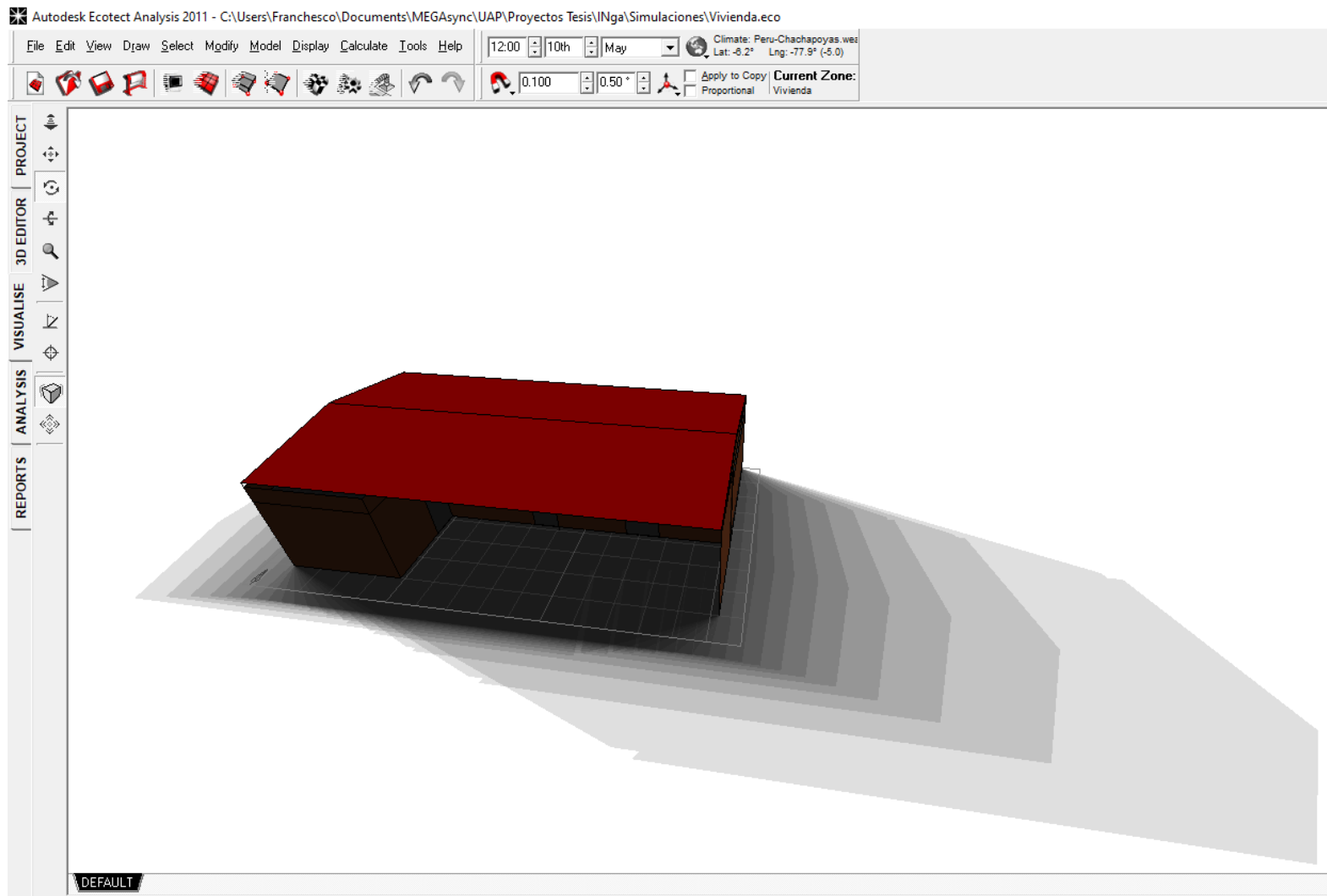


Figura 16: Distribución de sombras en vivienda

4.2.2.2 Análisis de radiación solar incidente

Los datos climatológicos, incluyendo los niveles de radiación solar para la zona de estudio están cargadas en el software (ver Figura 1), con estos datos se han realizado el grafico de niveles de radiación promedio por semana, mostrado en la Figura 5. Utilizando estos datos, además de los datos de georreferenciación y dimensiones de la vivienda, el software estima los niveles de radiación recibidos por las paredes de la vivienda.

Se ha realizado el análisis anual de la radiación solar incidente, desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre, para un horario de 8:00 am hasta las 6:00 pm. Los niveles de radiación solar incidente se pueden apreciar en la Figura 17.

OBJECT ATTRIBUTES

Avg. Daily Radiation

Value Range: 200.0 - 5000.0 Wh/m²

(c) ECOTECH v6

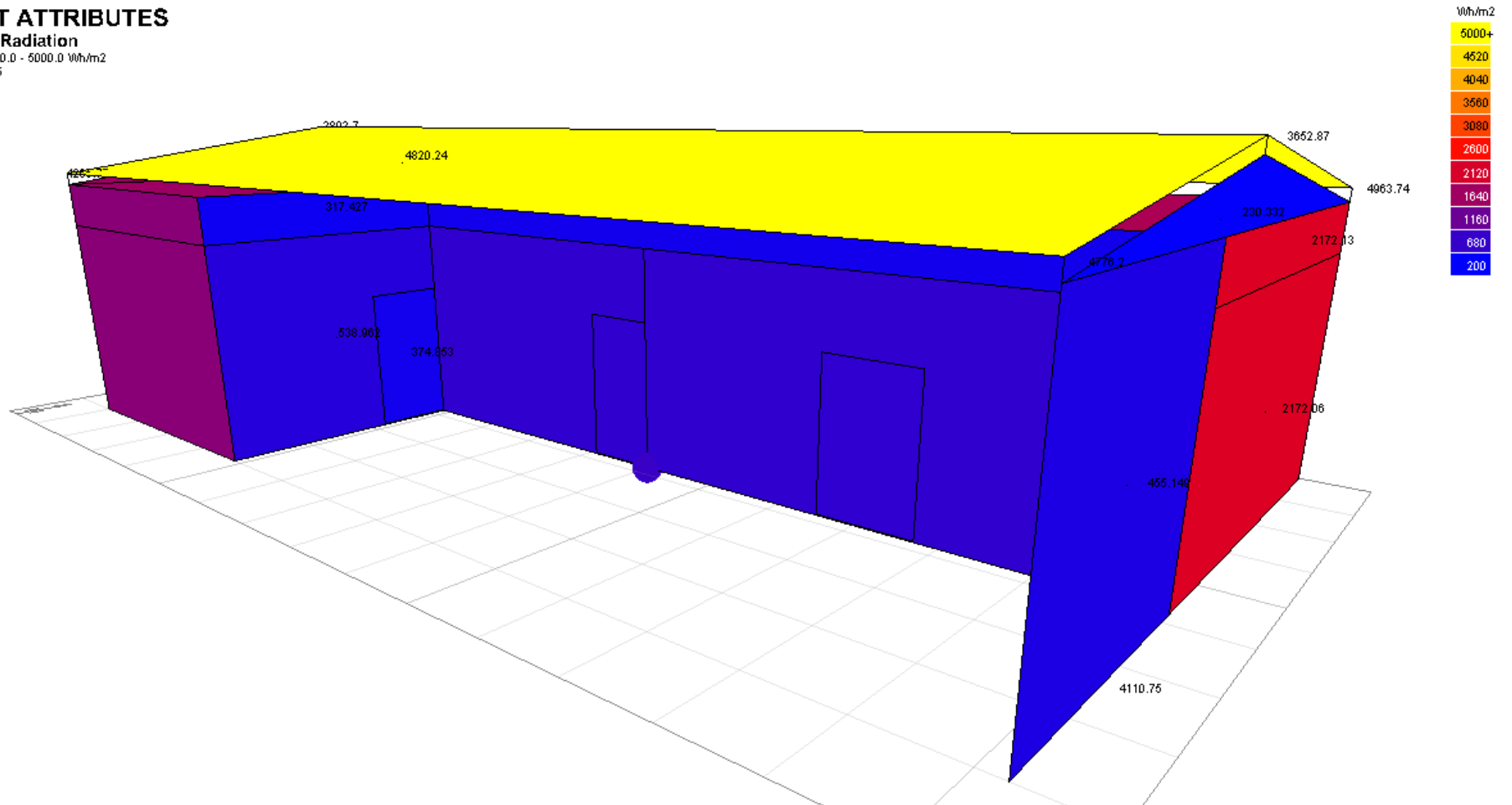


Figura 17: Incidencia de radiación solar promedio diaria anual para vivienda en Wh/m²

Como es de esperarse el mayor nivel de radiación solar, aproximadamente 4820 Wh/m², se alcanza en el techo de la vivienda y por la orientación, los menores niveles se alcanzan en las paredes que dan al patio y en las paredes de la cocina.

4.2.2.3 Análisis de iluminación natural dentro de la vivienda

Para este análisis el software analiza los niveles de radiación en el interior de la vivienda a partir de los datos climatológicos de radiación solar ingresados, así como también a partir de las dimensiones, y materiales de puertas, ventanas, tragaluz, etc. Se selecciona el piso de la vivienda para que este sea el área de mallado con el cual el software realiza el análisis.

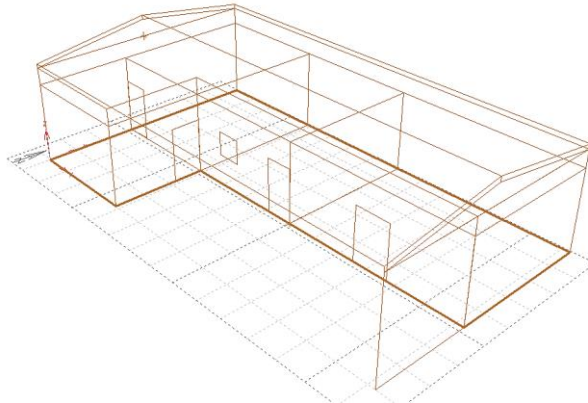


Figura 18: Piso de vivienda seleccionado para ser definida como área de mallado.

Cabe indicar que se le ha establecido al área de mallado una altura de 0,8 m, ya que es la altura común de mesas, escritorios, y muebles, sobre los cuales comúnmente se requiere iluminación para realizar tareas o actividades cotidianas.

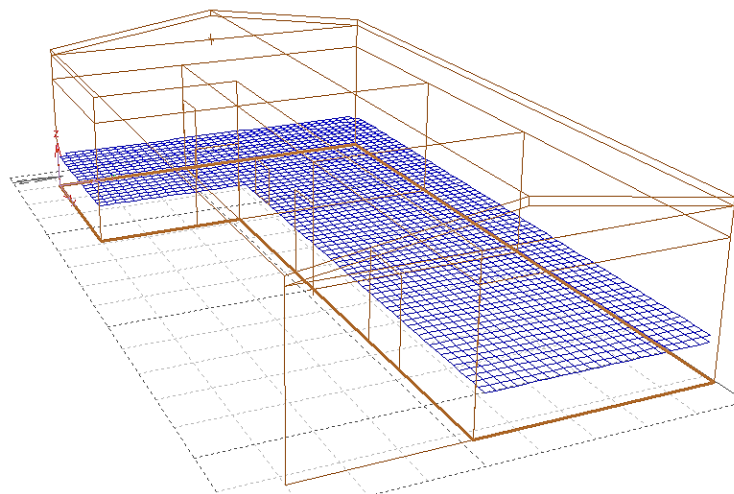


Figura 19: Área de mallado definida a una altura de 0,8 m

Daylight Analysis

Daylighting Levels

Value Range: 0 - 500 lux
(c) ECOTECH v6

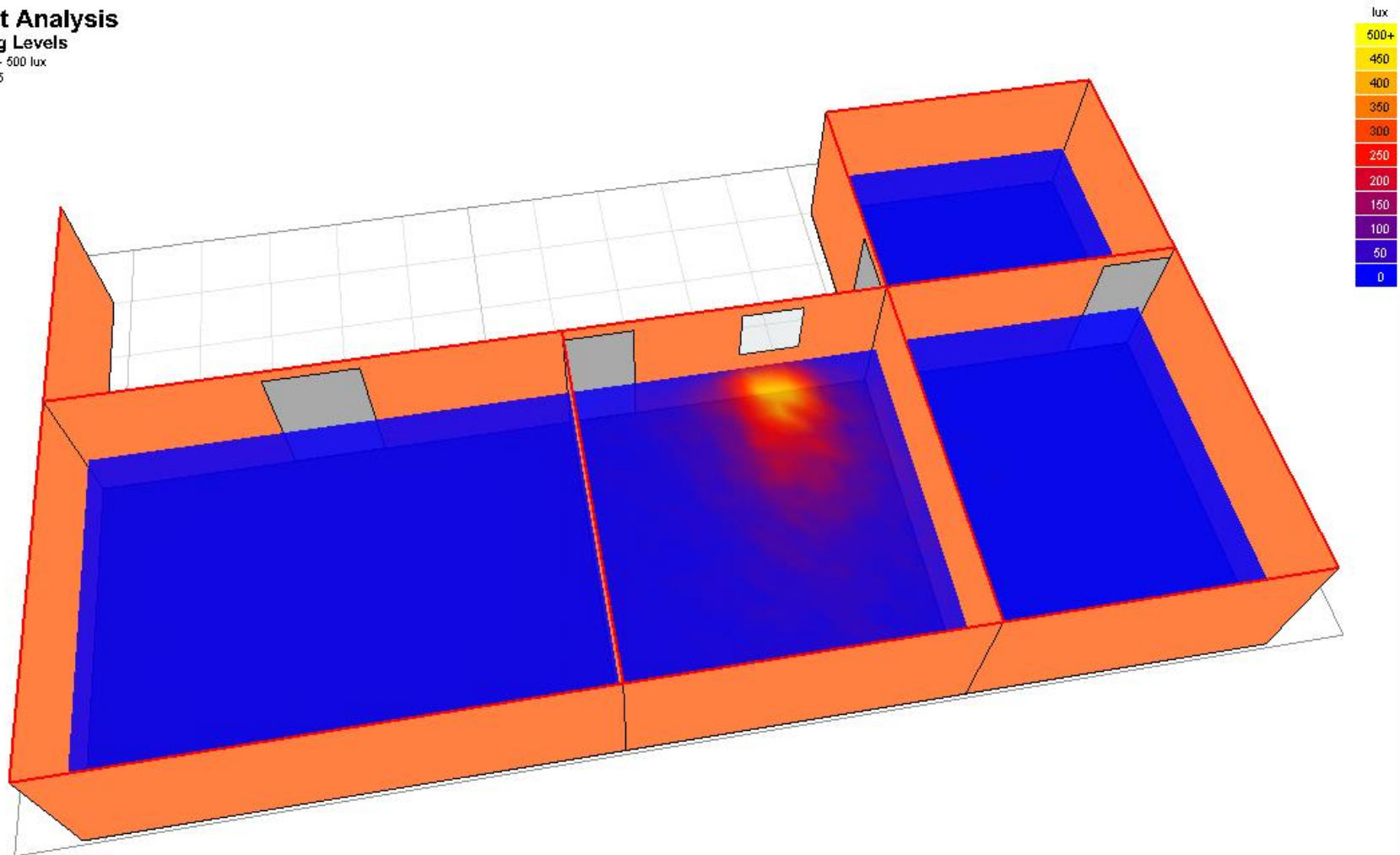


Figura 20: Niveles de iluminación en el interior de la vivienda en lux.

Como se puede apreciar el nivel de iluminación en casi todo el interior de la vivienda (excepto por las áreas cercanas a la ventana de vidrio) es nulo.

Este patrón se repite en las viviendas típicas de la zona, debido a que, con la intención de evitar las bajas temperaturas en el interior de la vivienda, se reduce el número de ventanas; sacrificando de esta manera el nivel de iluminación natural en el interior. Si bien esta medida evita bajas temperaturas en el interior, requiere de una mayor cantidad de iluminación artificial, lo cual se traduce en mayores costos de servicios de fluido eléctrico.

4.2.2.4 Análisis térmico de vivienda

Se analizó los niveles de temperatura en el interior de la vivienda, de acuerdo con los datos climatológicos ingresado y las dimensiones de la vivienda.

Cabe indicar que para el análisis térmico se ha dividido a la vivienda en 04 zonas térmicas, correspondientes a las 4 habitaciones con las que cuenta.

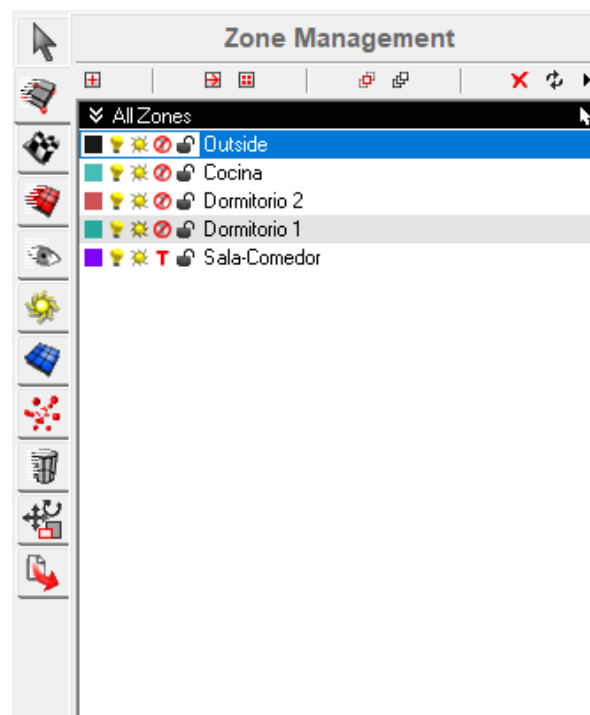


Figura 21: División de vivienda en 04 zonas para análisis térmico

Se realizó esta división con la intención de analizar cada ambiente de la vivienda de manera independiente. A continuación, se muestran los resultados del análisis.

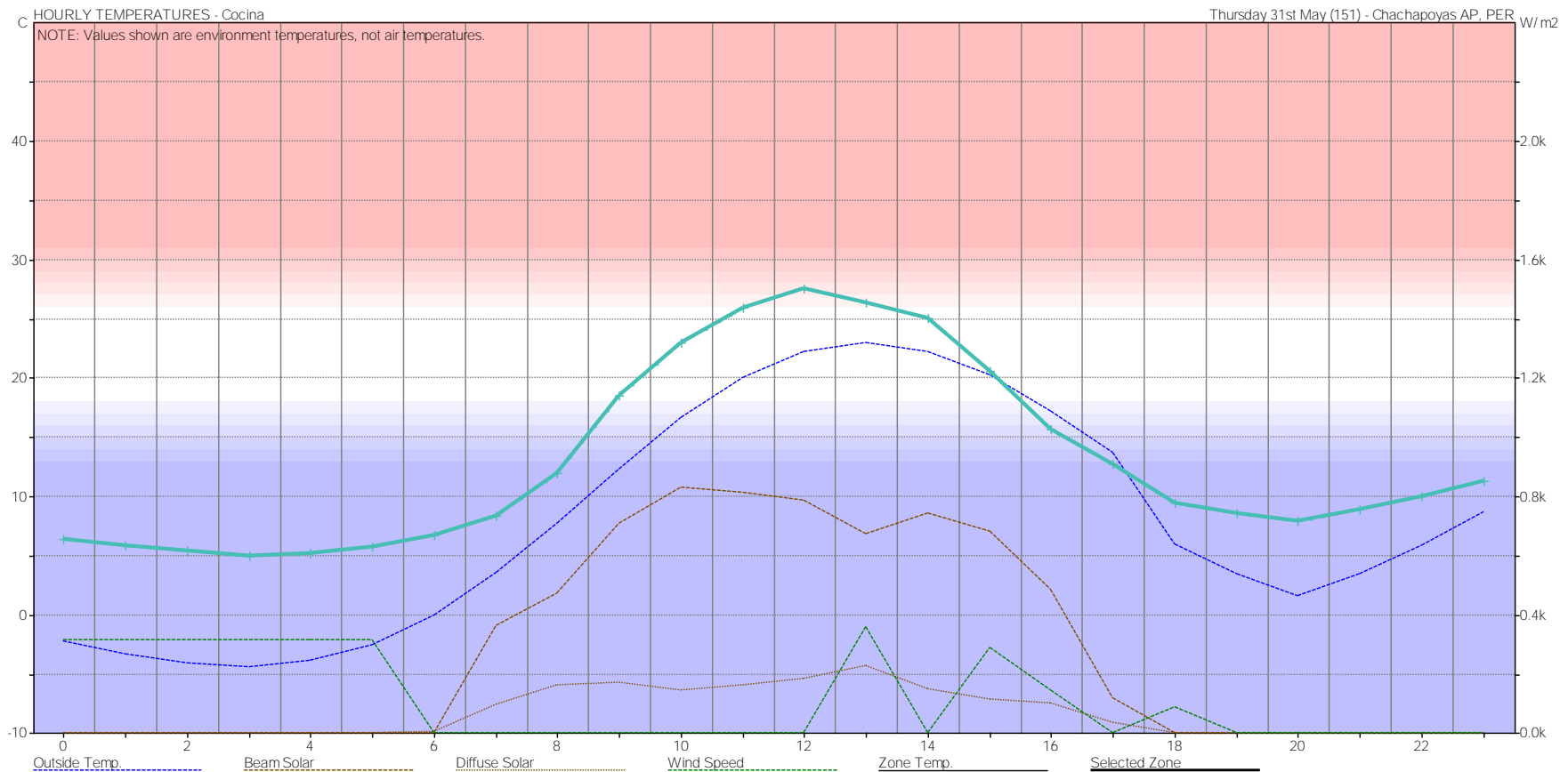


Figura 22: Temperatura exterior y temperatura interior de la cocina para el día más frío de la data climatológica ingresada.

Como se puede apreciar se alcanzan temperaturas de 0 ° C en el interior de la cocina entre las 2:00 am y 4:00 am. Durante el día se alcanzan temperaturas de confort térmico entre las 9:00 am y las 4:00 pm. Durante el día la diferencia de temperatura exterior e interior es de aproximadamente 5 ° C.

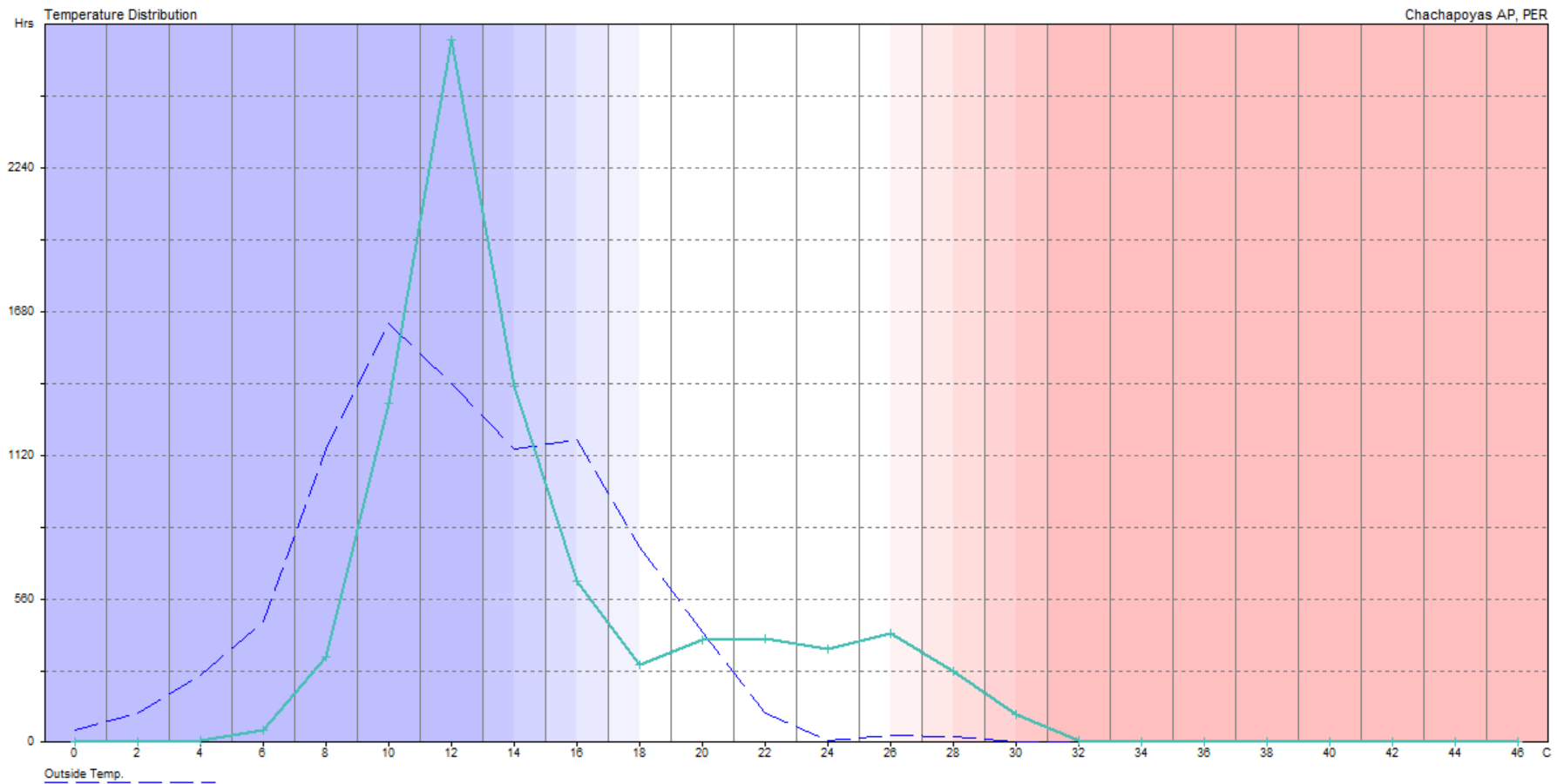


Figura 23: Distribución de la temperatura por horas durante un año en la cocina de la vivienda.

Como se puede apreciar la mayor cantidad de tiempo la temperatura en el interior de la cocina está por debajo de los 18 °C, es decir fuera del rango correspondiente al confort térmico. Siendo los 12 °C la temperatura predominante.

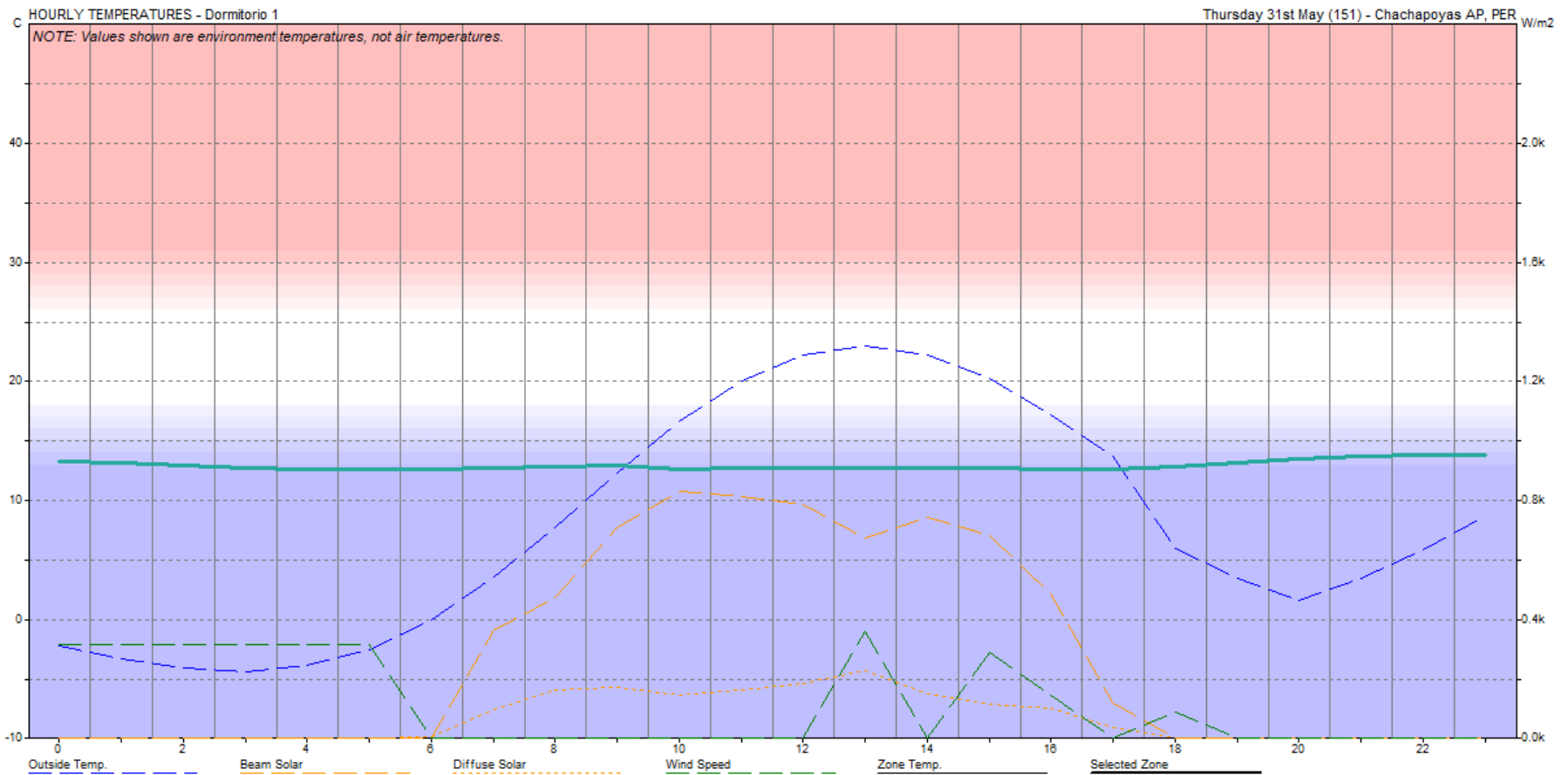


Figura 24: Temperatura exterior y temperatura interior del dormitorio 1 para el día más frío de la data climatológica ingresada.

Como se puede apreciar la temperatura en el interior del dormitorio 1 es prácticamente constante durante todo el día, alcanzando un promedio de 12,9 ° C, esto por debajo de la temperatura de confort térmico.

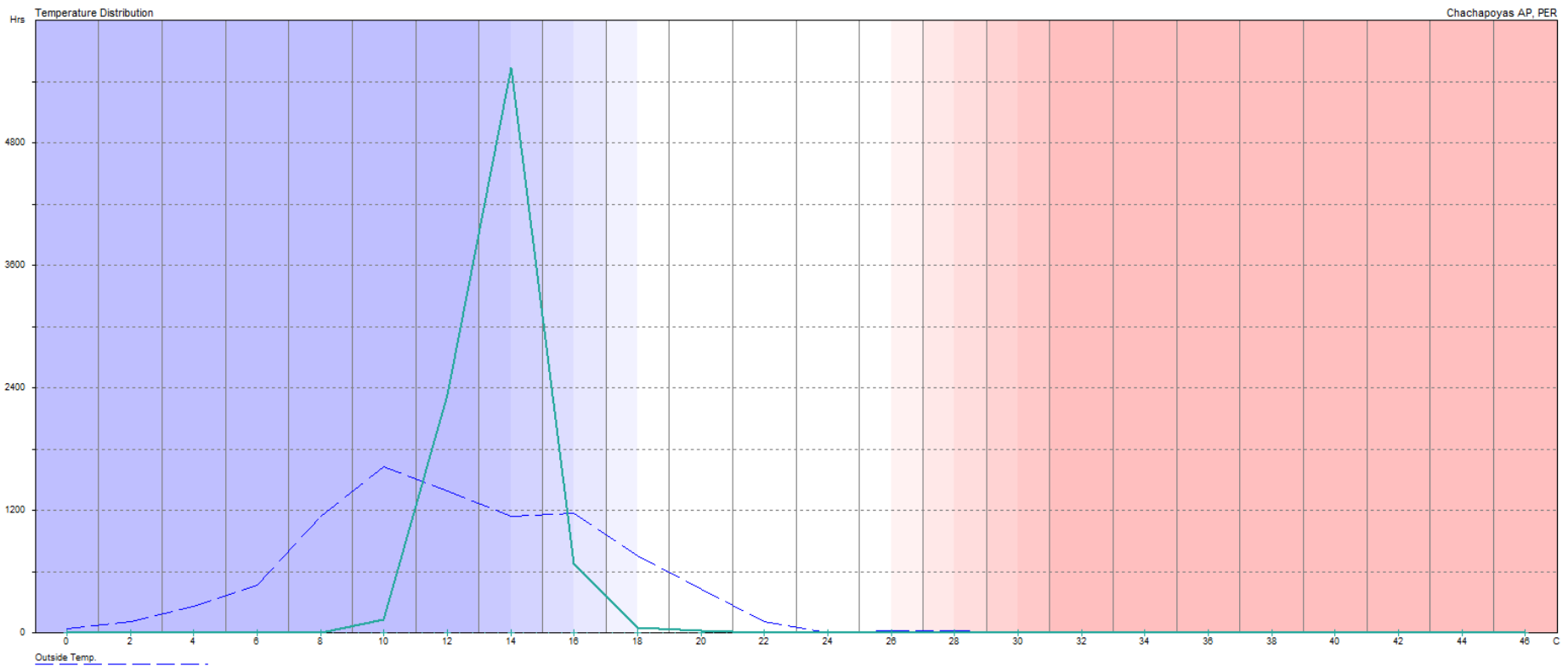


Figura 25: Distribución de la temperatura por horas durante un año en el dormitorio 1 de la vivienda

Prácticamente todo el tiempo la temperatura interior del dormitorio numero 1 está por debajo de la temperatura de confort, siendo la temperatura predominante en el tiempo la de 14 ° C.

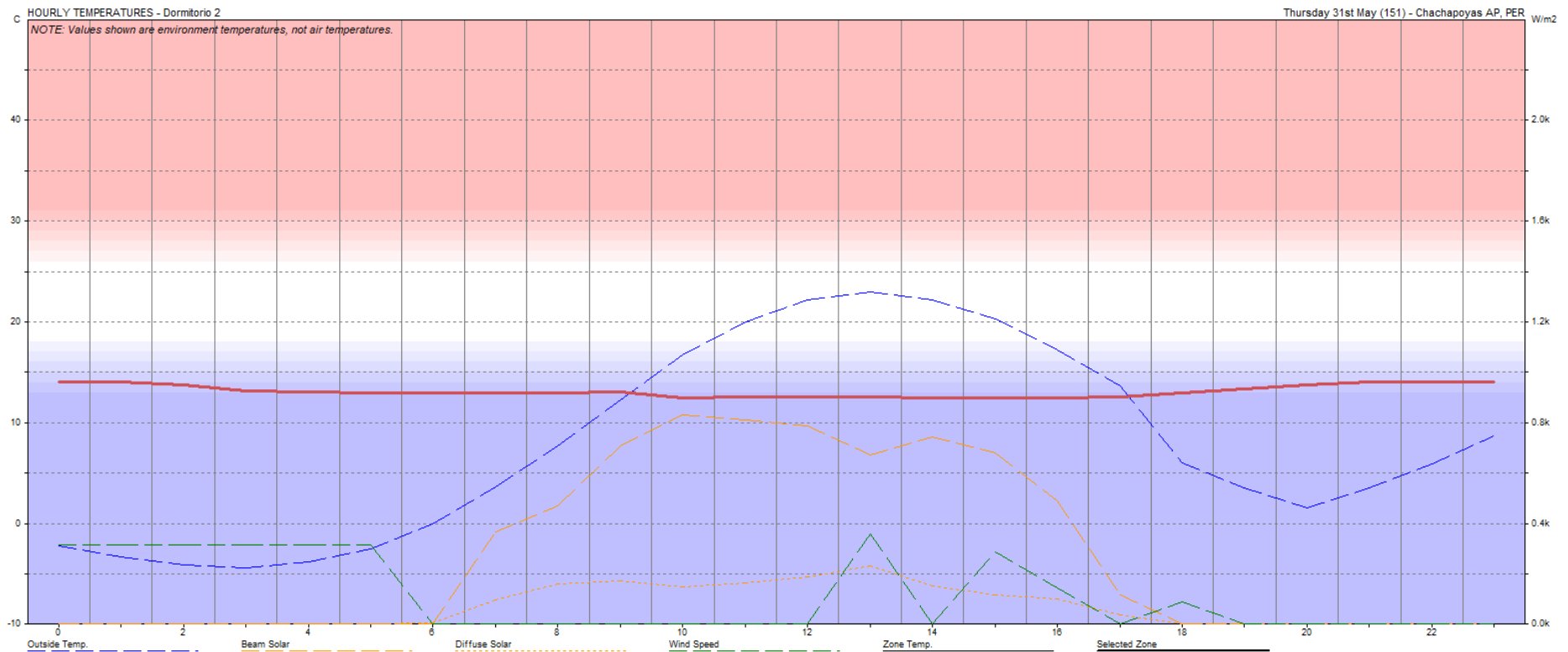


Figura 26: Temperatura exterior y temperatura interior del dormitorio 2 para el día más frío de la data climatológica ingresada.

Como se puede apreciar la temperatura en el interior del dormitorio 1 es prácticamente constante durante todo el día, alcanzando un promedio de 13,1 ° C, esto por debajo de la temperatura de confort térmico.

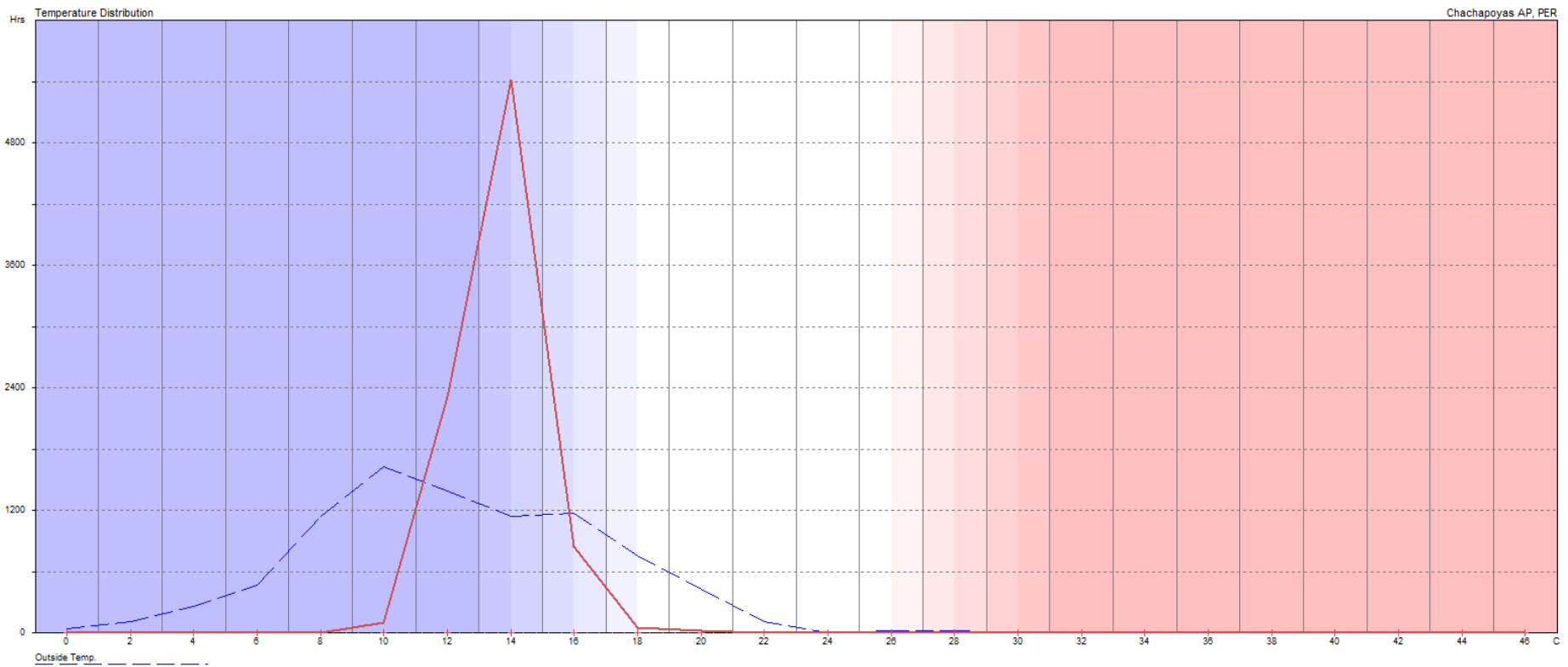


Figura 27: Distribución de la temperatura por horas durante un año en el dormitorio 2 de la vivienda

Prácticamente todo el tiempo la temperatura interior del dormitorio numero 2 está por debajo de la temperatura de confort, siendo la temperatura predominante en el tiempo la de 14 ° C.

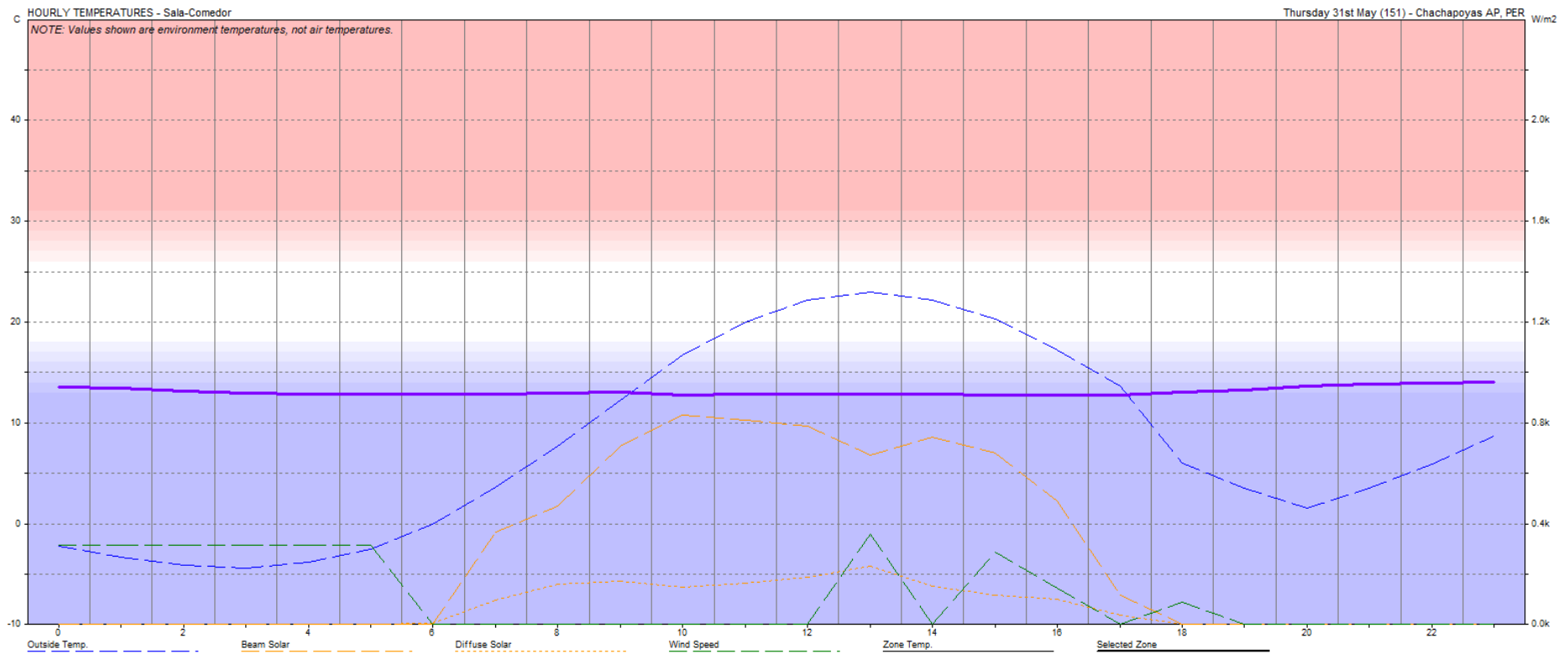


Figura 28: Temperatura exterior y temperatura interior de la sala-comedor para el día más frío de la data climatológica ingresada.

En el interior del de la sala-comedor, la temperatura es prácticamente constante durante todo el día, alcanzando un promedio de 13,1 ° C, esto por debajo de la temperatura de confort térmico.

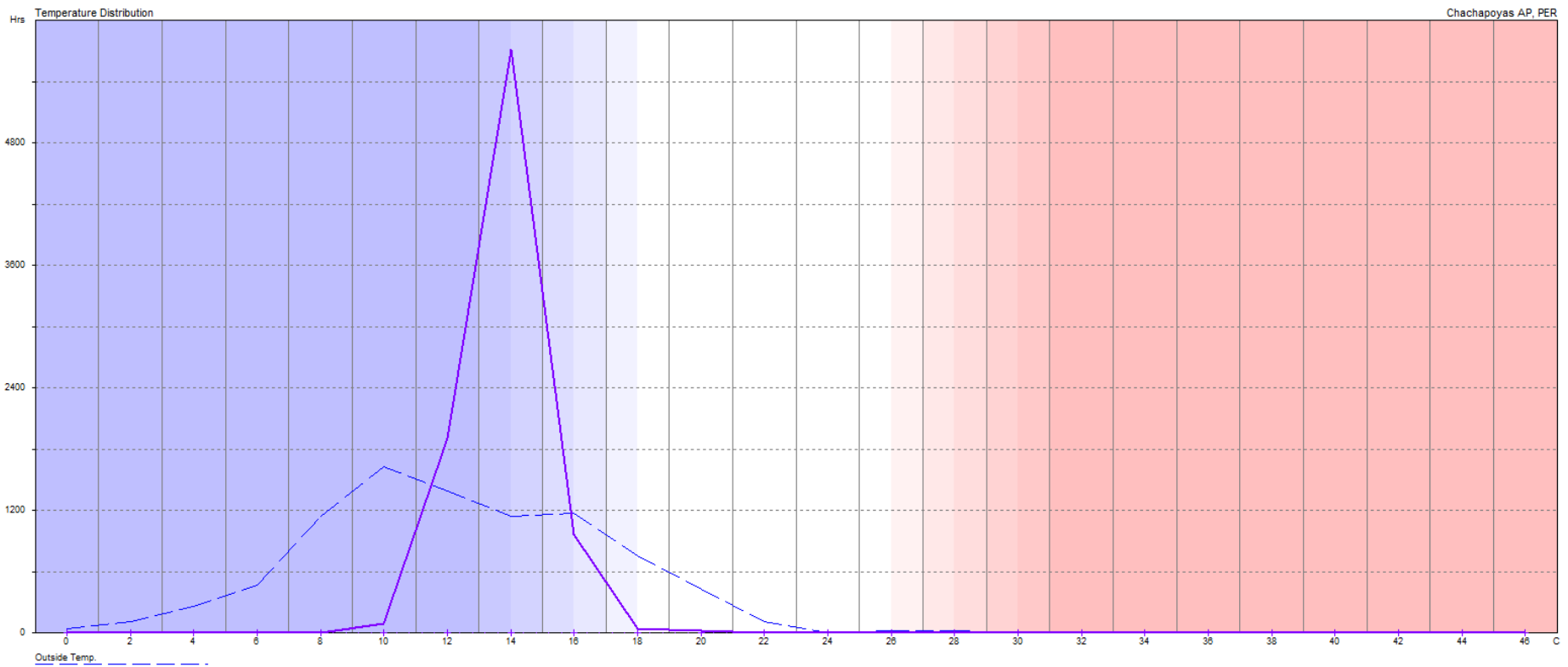


Figura 29: Distribución de la temperatura por horas durante un año en la sala-comedor de la vivienda

Prácticamente todo el tiempo la temperatura interior de la sala-comedor está por debajo de la temperatura de confort, siendo la temperatura predominante en el tiempo la de 14 ° C.

4.3. Propuesta de vivienda térmica para zona de friaje

4.3.1 Determinación de condiciones de confort térmico

De acuerdo a los datos de las condiciones climáticas de la zona de estudio, se puede apreciar que las temperaturas existentes están por debajo de la zona de confort, como se ve en la siguiente figura.

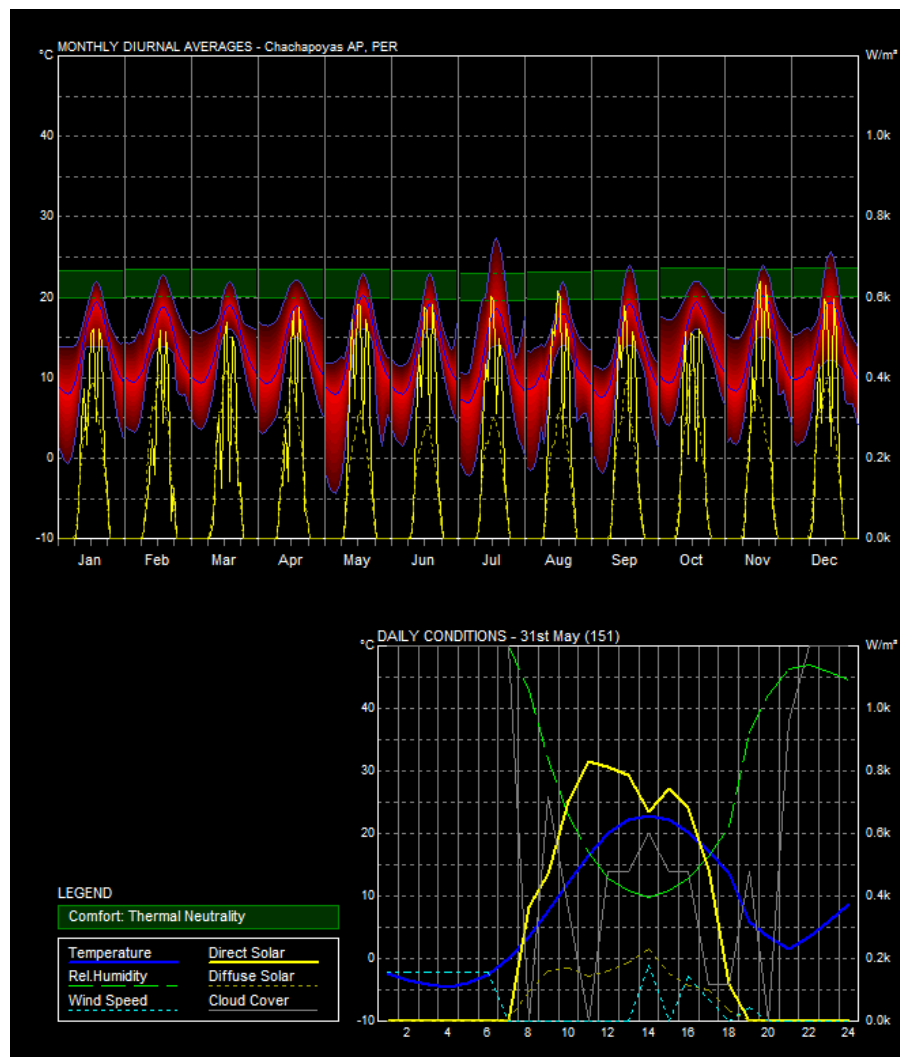


Figura 30: Las temperaturas se encuentran por debajo de la zona de confort (franja verde en gráfico superior)

En la Figura 31, usando la herramienta Weather Tool, se puede apreciar la zona de confort, para las condiciones climáticas de la localidad en estudio.

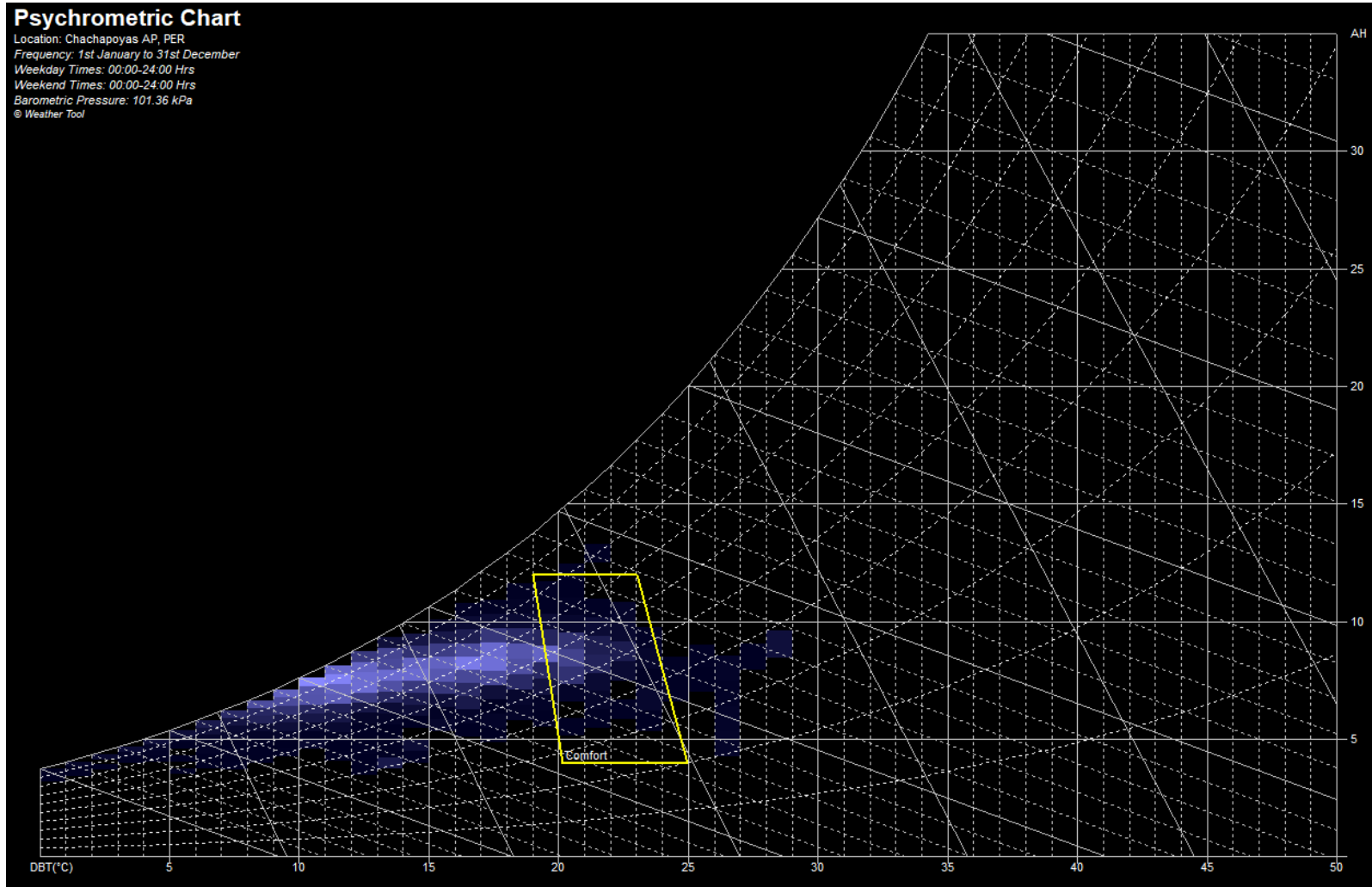


Figura 31: Zona de confort para la localidad en estudio

4.3.2 Orientación óptima de vivienda

De acuerdo a la radiación incidente diaria sobre una superficie vertical y las coordenadas de la localidad la herramienta *Weather Tool*, estima la mejor orientación de la vivienda con respecto al norte.

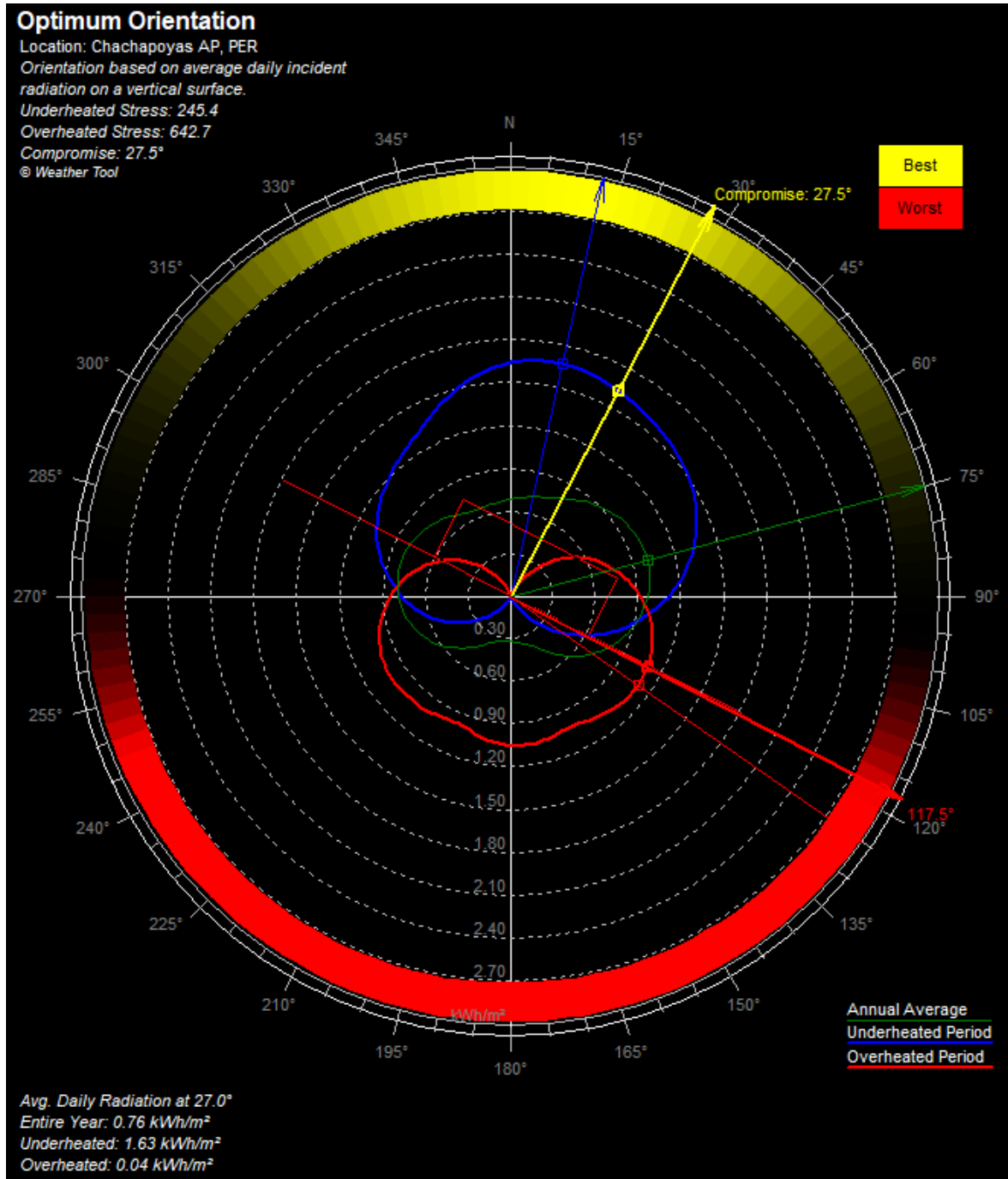


Figura 32: La mejor orientación de la vivienda con respecto al norte

Como se puede apreciar la mejor orientación de la vivienda es de 27,5° al este del norte. Esta orientación permitirá aprovechar al máximo la incidencia de la radiación

solar en los meses más fríos (junio, julio y agosto) y tener menor incidencia en los meses más calurosos, ver figura 32.

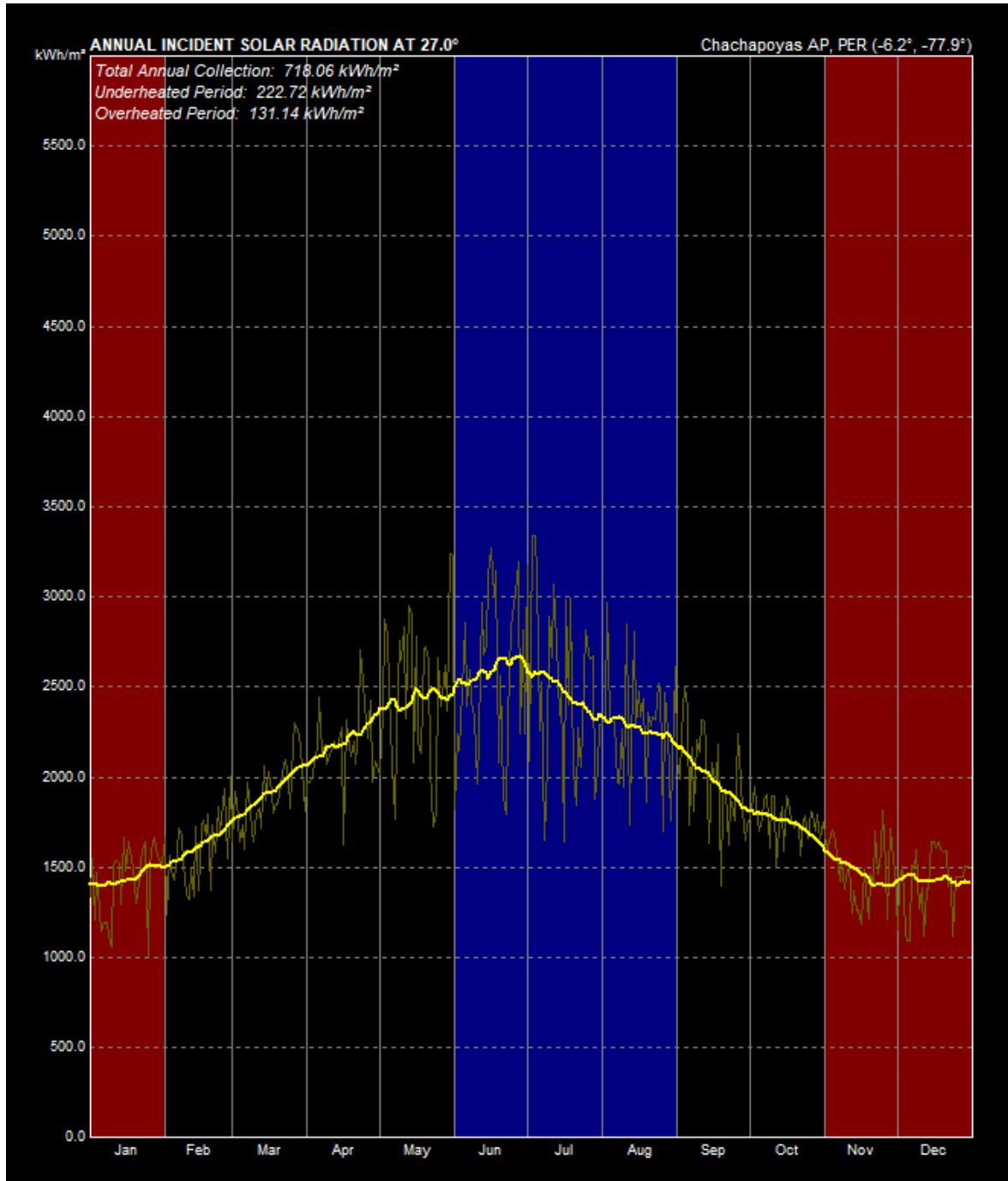


Figura 33: Incidencia de radiación solar en meses más fríos y meses más calurosos

Con esta nueva orientación asignada a la vivienda podemos ver el rango de sombras para el día más frío en promedio (26 de julio).

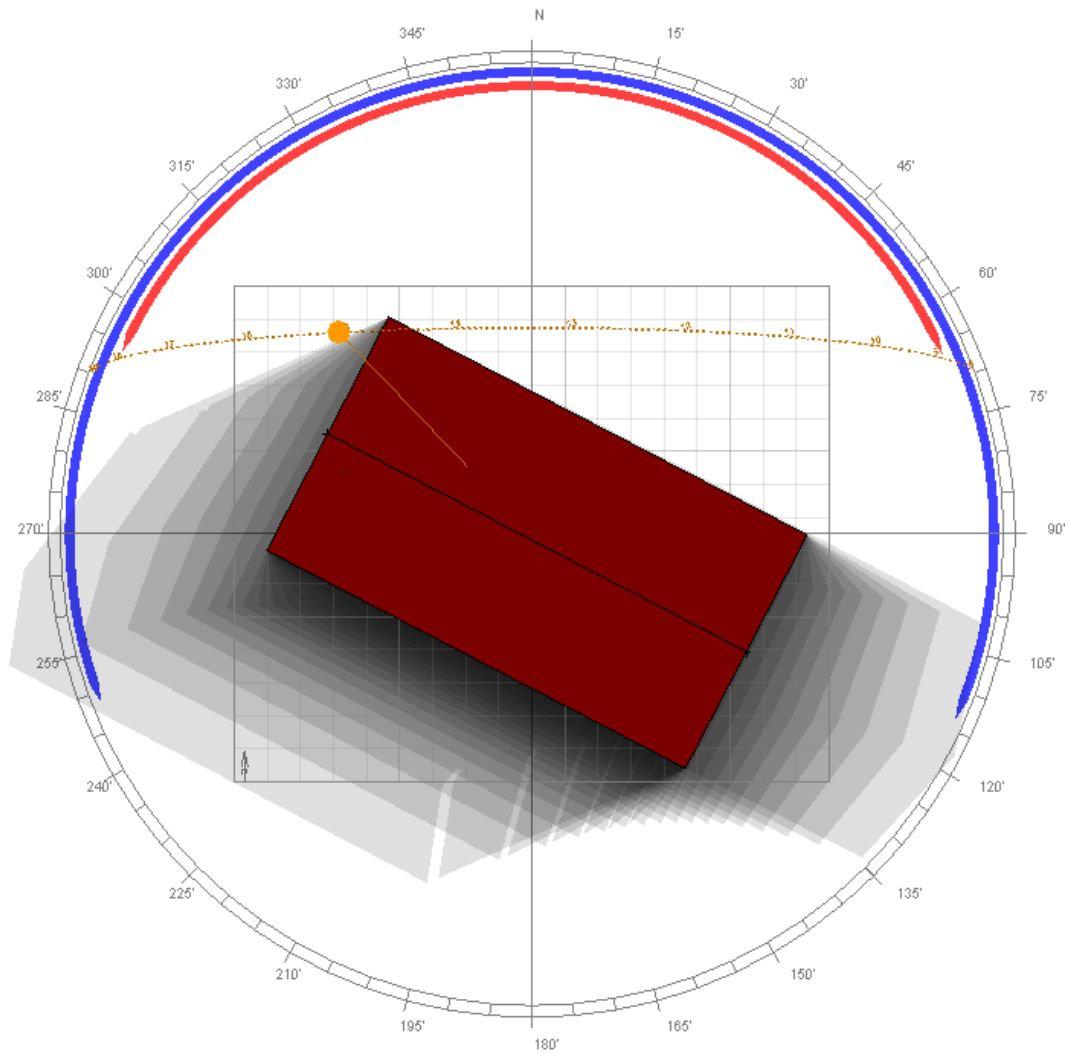


Figura 34: Rango de distribución de sombras para el día más frío en promedio

4.3.3 Utilización de materiales para mejora del confort térmico

De acuerdo a las simulaciones realizadas, los niveles de temperatura alcanzados en las habitaciones, están por debajo de las condiciones de confort térmico, como se ha visto en el apartado 4.2.24, las temperaturas están alrededor de los 13 °C, para el día más frío de la data climatológica ingresada. Estos niveles de temperatura hacen que las habitaciones no tengan las condiciones necesarias para hacer frente a las épocas de friaje que se presenten, pudiendo llegar incluso a afectar la salud de los residentes.

Para incrementar la temperatura en el interior de las habitaciones es necesario tener materiales, en las paredes de la vivienda, que funcionen como aislantes térmicos, es decir que impidan que las bajas temperaturas exteriores afecten (reduzcan) las temperaturas interiores.

En este sentido se optó por utilizar, en la simulación, materiales que mejoren el aislamiento térmico de la vivienda. Se recurrió primero al uso de materiales tradicionales o materiales de la zona, que puedan ser agenciados con mayor facilidad por los residentes. Así mismo, se hicieron simulaciones utilizando materiales aislantes comerciales como la fibra de vidrio, lana aislante y poliestireno expandido.

A continuación, se muestran los resultados del uso de cada uno de estos materiales.

4.3.3.1 Adobe y madera de pino

Como habíamos explicado, tradicionalmente, las viviendas en la zona de estudio, están construidas a base de adobe, el cual tiene un espesor de 25 cm; como se ha registrado en los planos de los anexos de la presente investigación.

En esta primera prueba se recurrió al pino como material por tener propiedades aislantes, y por ser una madera abundante en la zona de estudio.



Figura 35: Vista panorámica de la localidad de Huancas, Chachapoyas, donde se ve que el pino es una madera predominante en la zona.

En la Figura 36, se puede apreciar las propiedades térmicas del adobe y de la madera de pino, de acuerdo con la biblioteca de materiales de Autodesk.

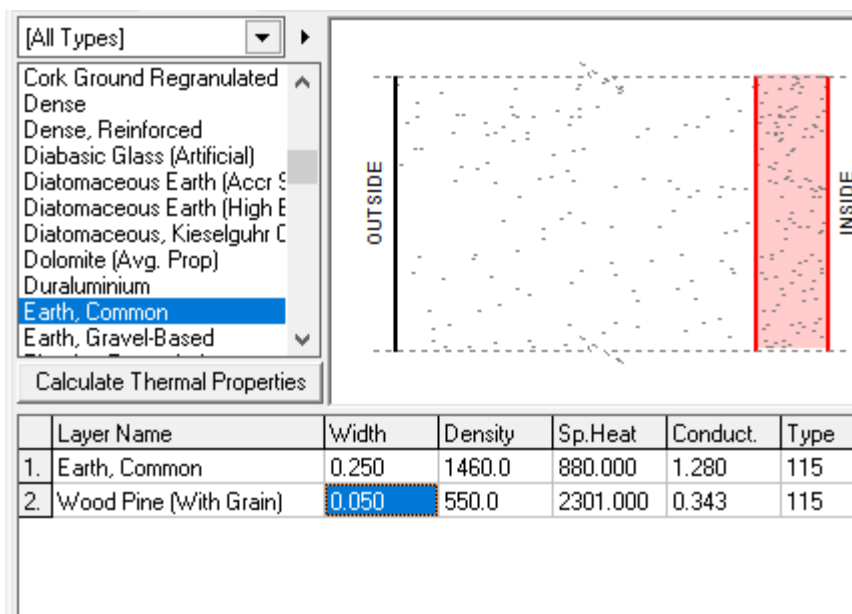


Figura 36: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común) y la madera de pino

Así mismo, se puede apreciar la distribución de las capas de los materiales que serán instalados uno a continuación del otro, siendo el adobe quien este expuesto a la parte exterior de la vivienda, como se puede apreciar en la Figura 36. A continuación, se muestran los resultados.

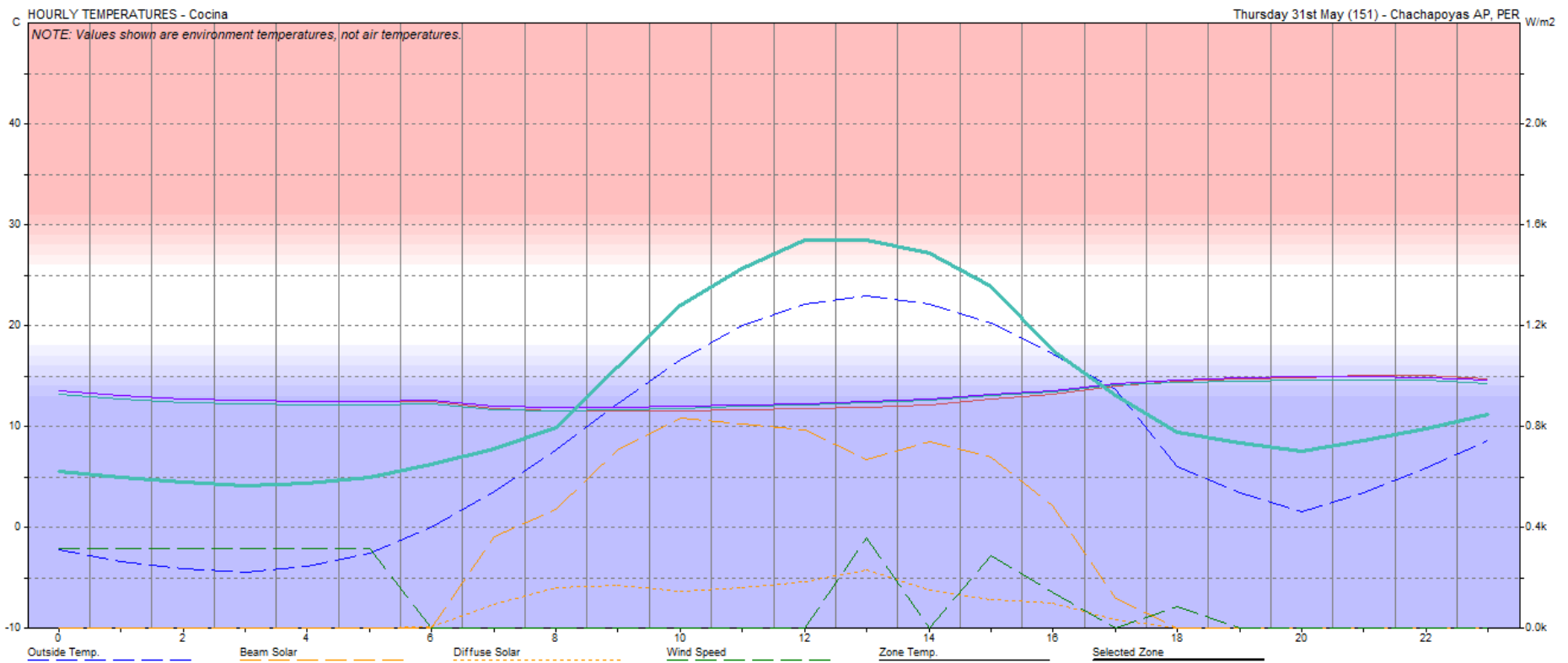


Figura 37: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2

Como se puede apreciar no hay un cambio significativo en las temperaturas interiores con respecto a las condiciones iniciales de la vivienda (ver apartado 4.2.2.4). La línea azul punteada representa la temperatura exterior, mientras la línea verde la temperatura interior de la cocina. Ambas temperaturas tienen la misma tendencia, esto debido a la ubicación de la cocina, la cual tiene prácticamente 3 paredes expuestas a las condiciones externas.

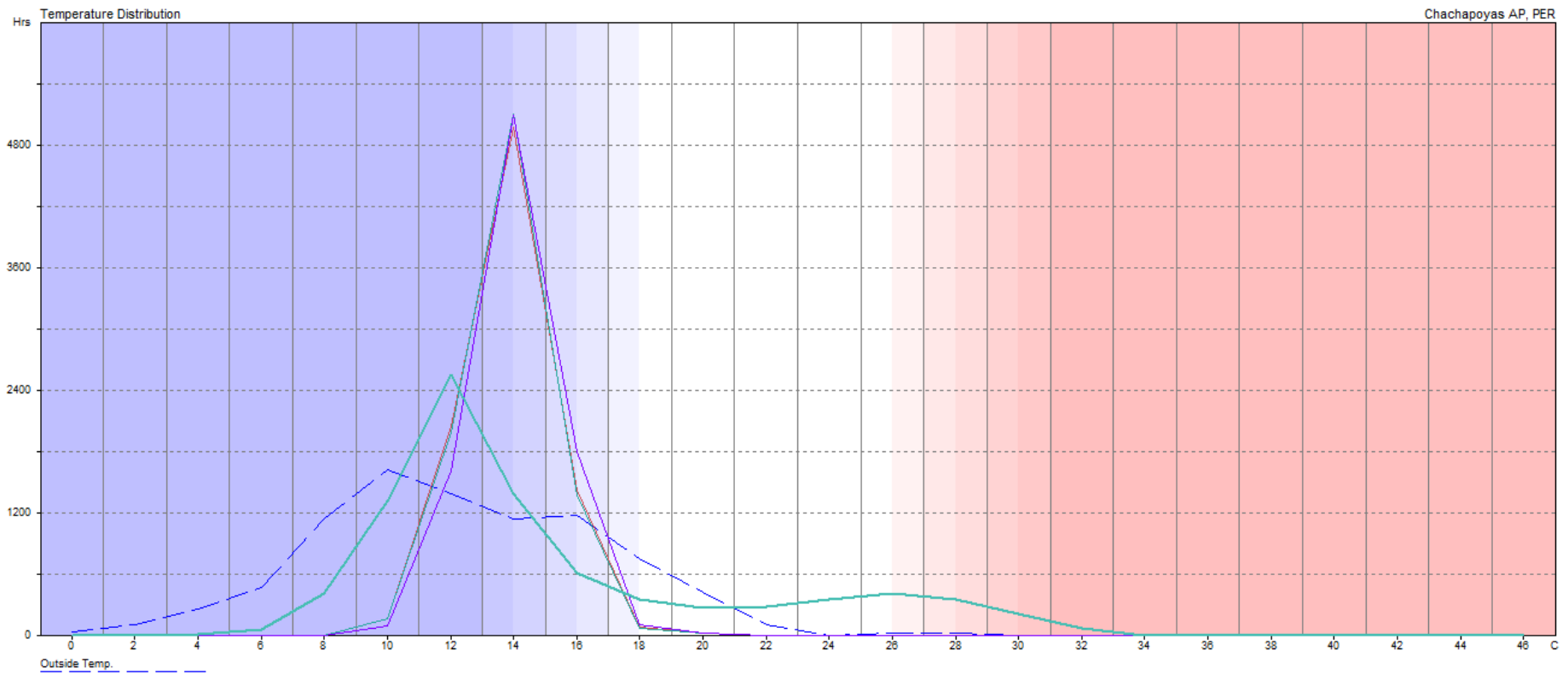


Figura 38: Distribución de temperaturas en horas para todo un año

Como se puede apreciar no hay cambios significativos en la distribución de la temperatura a lo largo de las horas. La mayor parte del tiempo las temperaturas siguen estando por debajo de la temperatura de confort.

4.3.3.2 Adobe, capa de aire y madera

Para esta segunda prueba se utilizó una capa intermedia de aire, entre la madera y el adobe. Las propiedades térmicas del aire se muestran en la Figura 39.

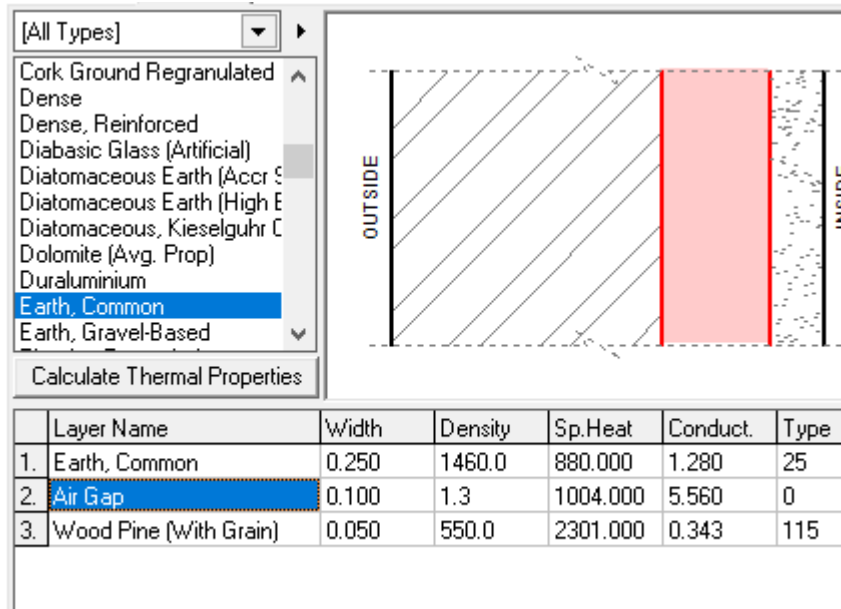


Figura 39: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), aire y la madera de pino

La capa de aire elegida es de 10 cm, mientras que las capas de adobe y de madera mantienen sus espesores de 25 cm y 5 cm, respectivamente.

En las figuras siguientes se muestran los resultados de las simulaciones.

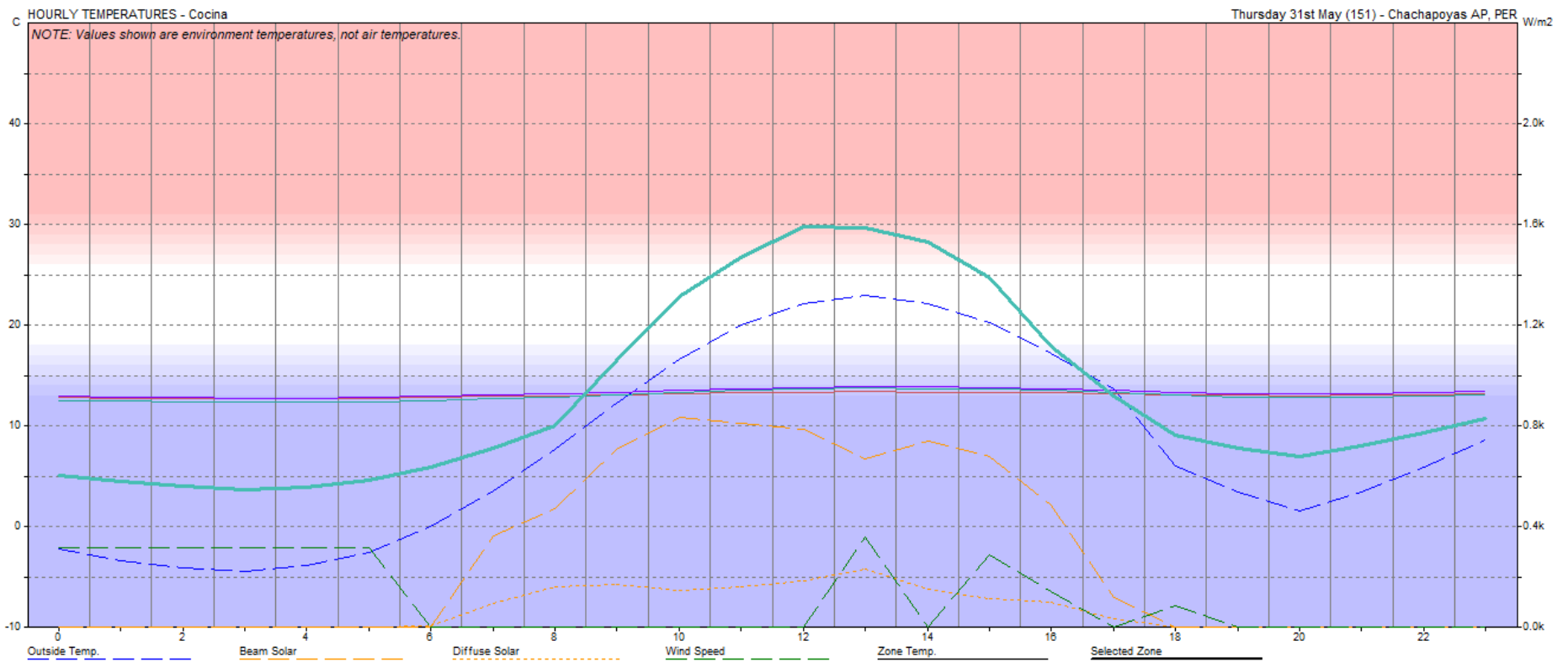


Figura 40: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por adobe, madera y capa intermedia de aire.

La cocina sigue sometida a las variaciones externas de temperatura, y la temperatura en el interior del dormitorio 1, dormitorio 2 y la sala-comedor se mantienen casi iguales, cercanas a los 13° C.

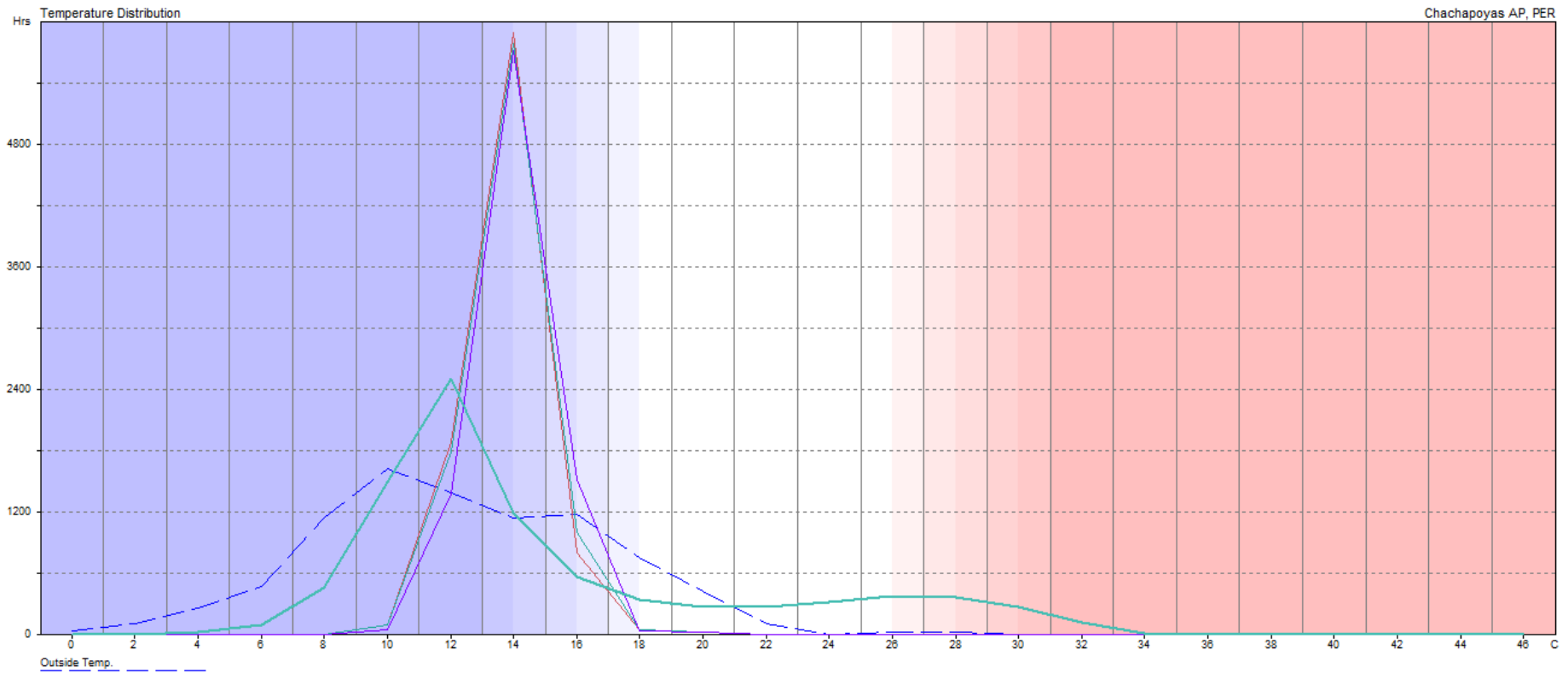


Figura 41: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de aire en las paredes.

Las horas de bajas temperaturas son las que predominan, siendo la temperatura de 14°C la predominante para la sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2. Mientras que, para la cocina, se mantiene la tendencia de los casos anteriores por su fuerte dependencia a las variaciones externas.

4.3.3.3 Adobe, grava y madera

Otro material disponible en la zona es la grava, la cual podría ser añadida como una capa térmica en las paredes de la vivienda. En la Figura 42, se muestran las propiedades térmicas de la grava y la distribución de las capas de estos materiales.

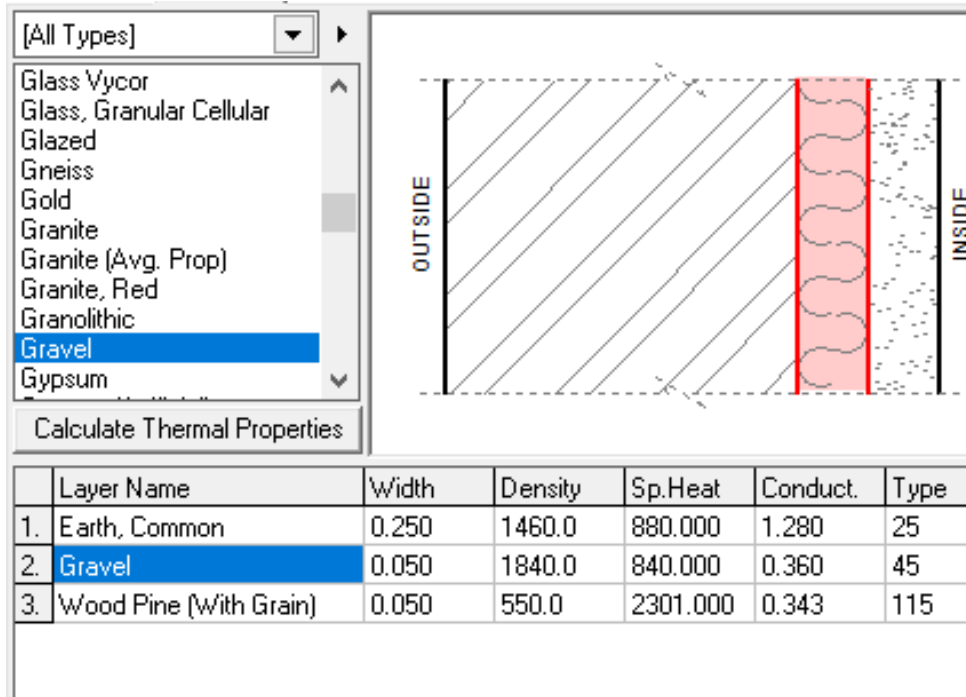


Figura 42: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), grava y madera de pino

La capa de grava es de 5 cm y las de adobe y madera se mantienen en 25 cm y 5 cm, respectivamente.

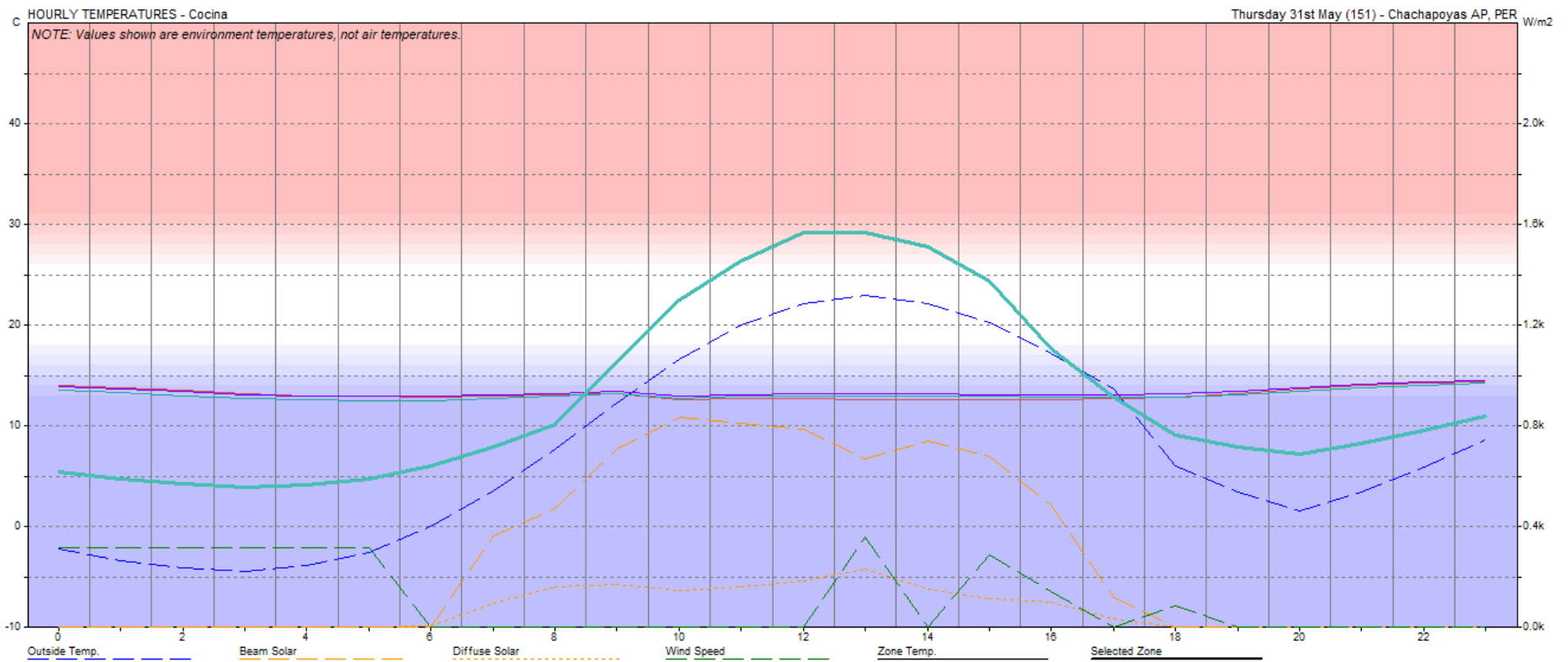


Figura 43: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por adobe, madera y capa intermedia de grava.

Como se puede apreciar, no se percibe una mejora con respecto a las condiciones iniciales, la temperatura interior en las habitaciones sigue manteniéndose en los 13 °C.

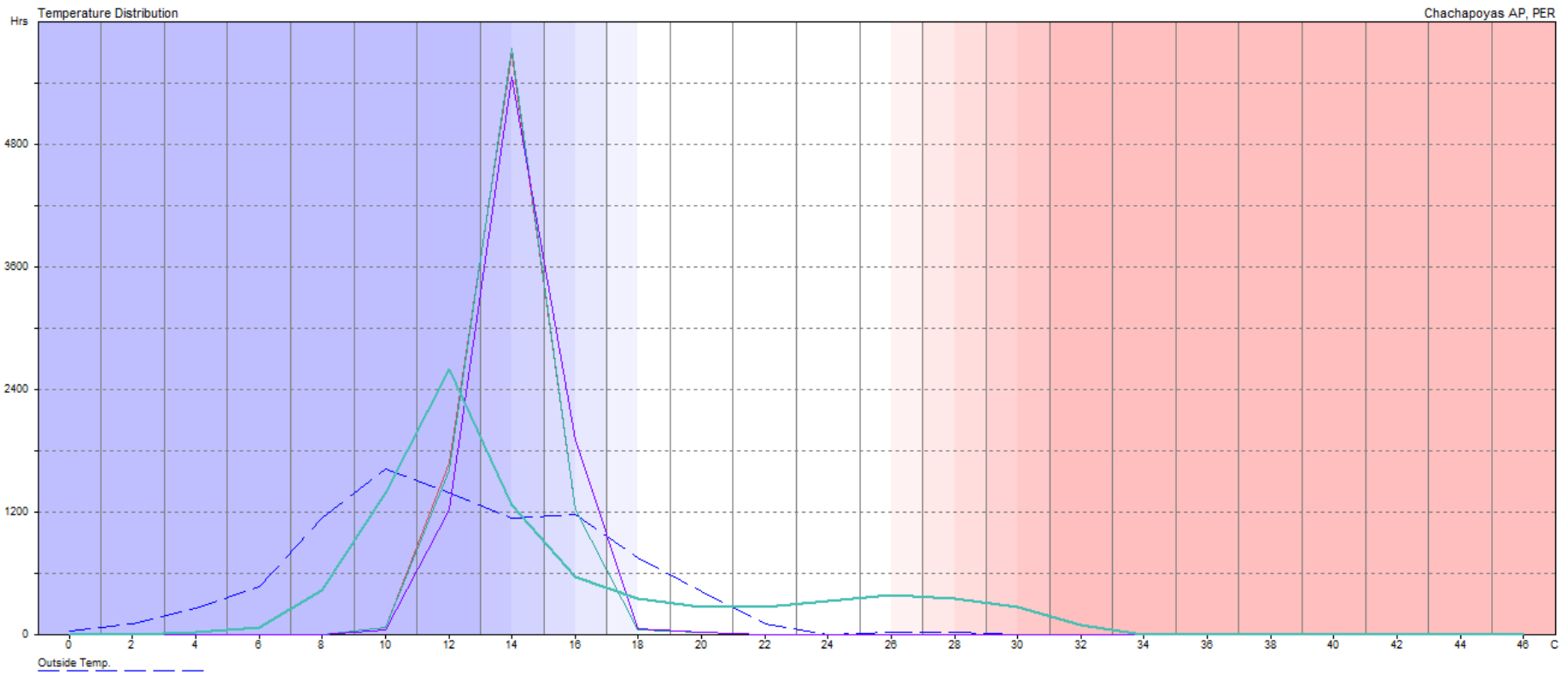


Figura 44: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de grava entre las capas de adobe y madera de pino.

Al igual que para la distribución de temperaturas a lo largo del día no hay cambio apreciable en la distribución de temperaturas en horas para todo un año.

4.3.3.4 Adobe, cascarilla de arroz y madera de pino

La cascarilla de arroz posee propiedades de aislamiento térmico muy significativas (ver Figura 45), por lo cual, este residuo agrícola; podría ser utilizado como aislante térmico en viviendas.

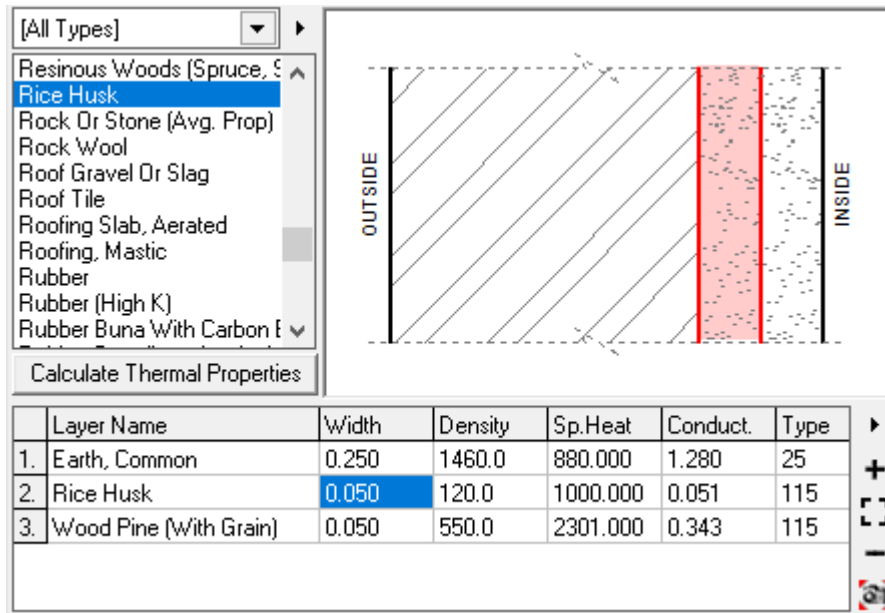


Figura 45: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), cascarilla de arroz y madera de pino

En una primera prueba se ha considerado un espesor de 5 cm para la capa de cascarilla de arroz, y se han mantenido los espesores de 25 cm y de 5 cm para las capas de adobe y madera de pino, respectivamente.

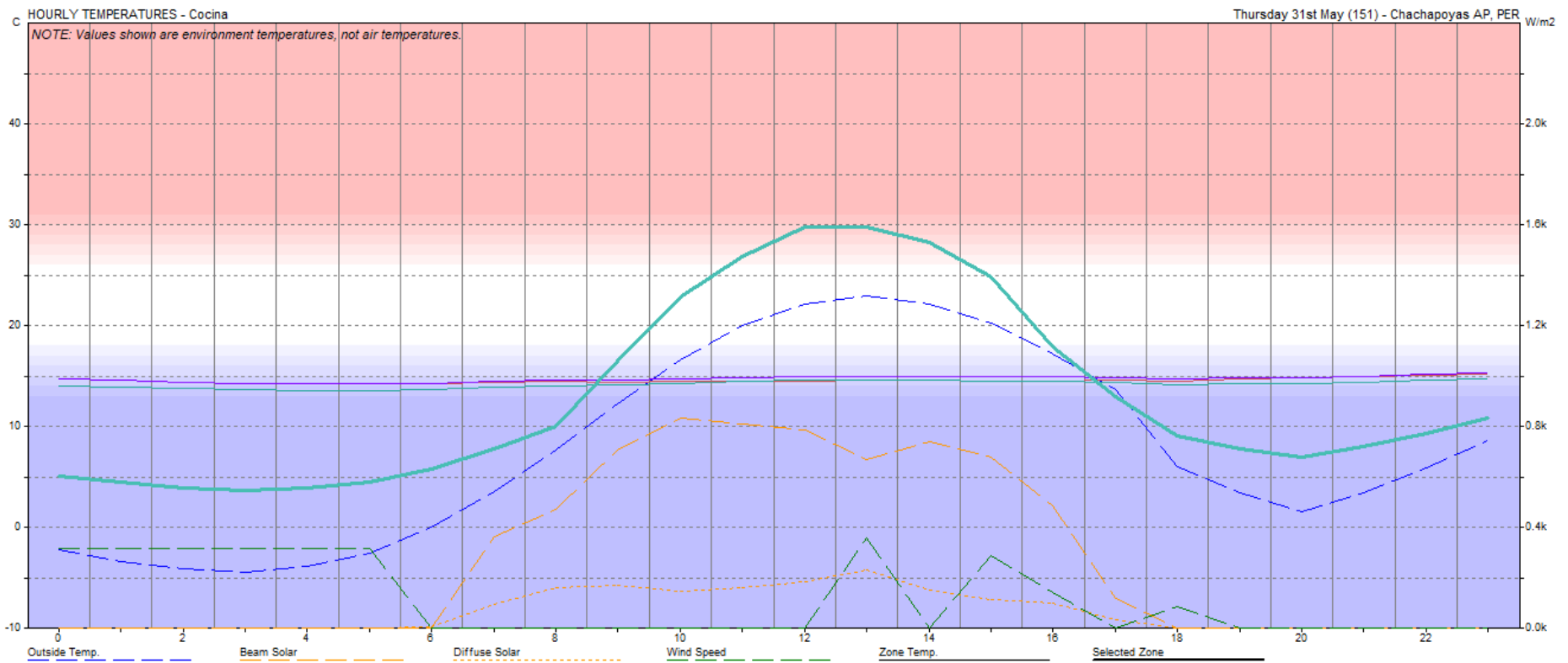


Figura 46: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa intermedia de arroz (5cm).

Como se puede apreciar, hay una mejora notable en las temperaturas internas de la sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2. Ahora la temperatura en estas habitaciones es de 15 °C, lo cual no se había conseguido con los materiales anteriores.

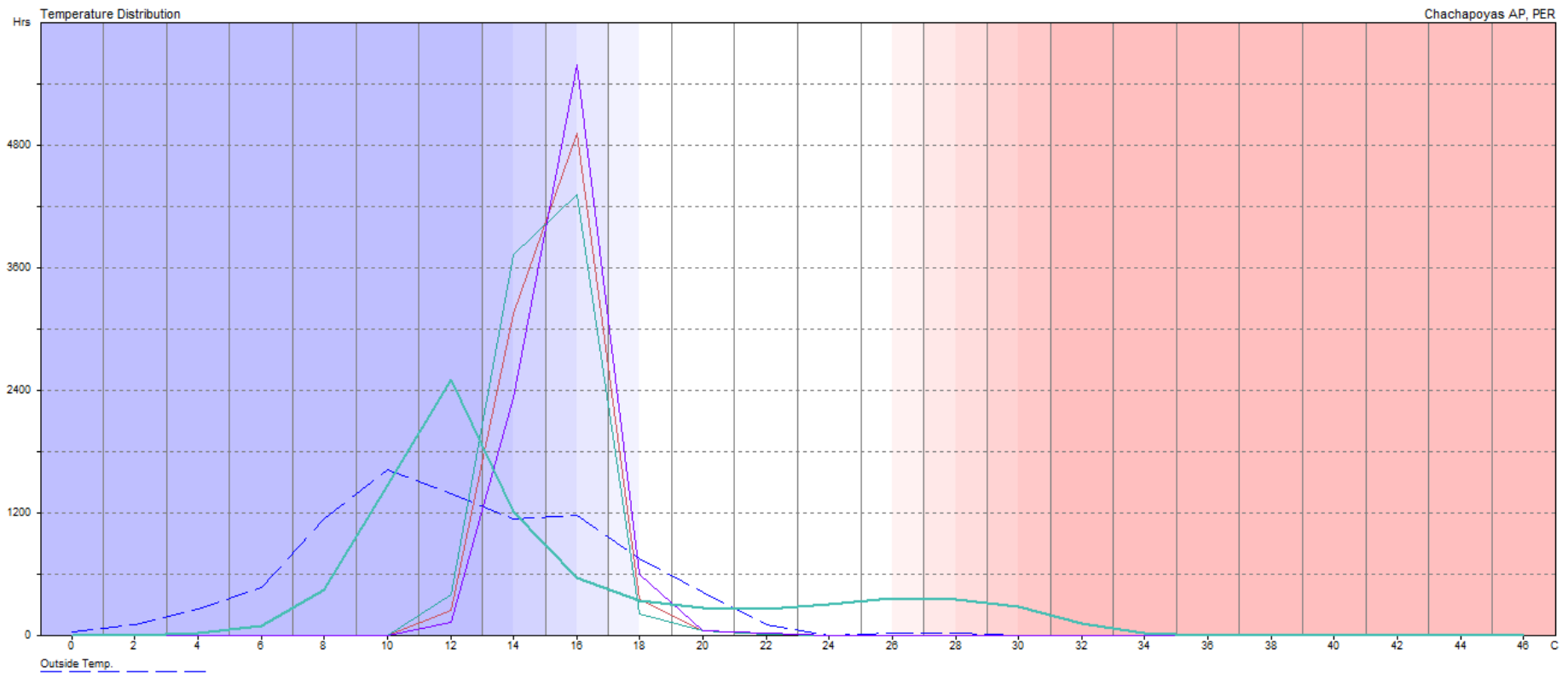


Figura 47: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de cascarilla de arroz (de 5 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.

La mejora de las temperaturas interiores también se puede notar en la distribución horaria de temperaturas, donde podemos notar que ahora el mayor tiempo las temperaturas en el interior de las habitaciones están entre 15 °C y 16°C. En vista de esta mejora

notable, se ha realizado un segundo análisis para este material, en el cual la capa de cascarilla de arroz se ha aumentado a 15 cm, obteniendo los siguientes resultados.

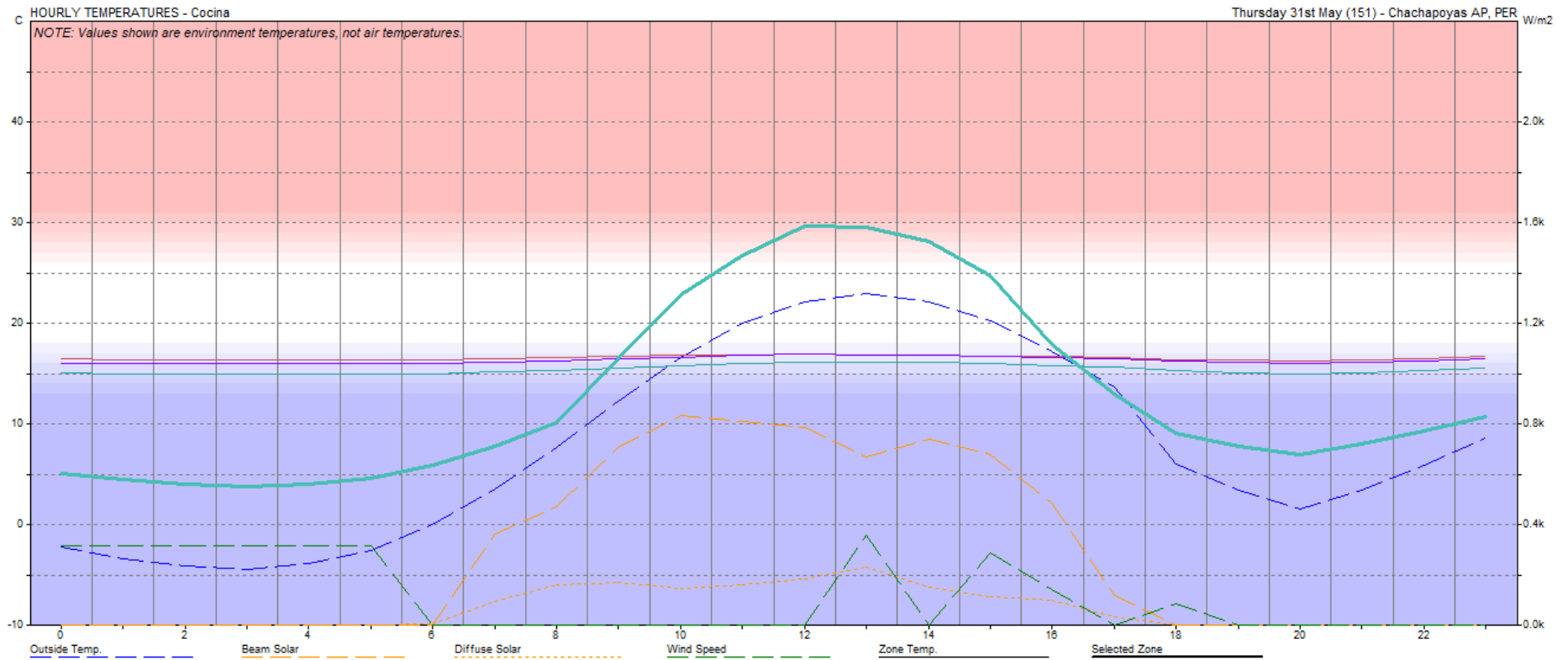


Figura 48: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa intermedia de arroz (15cm).

Como se puede apreciar, las temperaturas ahora en el dormitorio 1, dormitorio 2 y sala-comedor se han incrementado, llegando a los 17 °C para el día más frío de la data climatológica ingresada.

Esta mejora también se aprecia cuando analizamos la distribución horaria de la temperatura para todo el año.

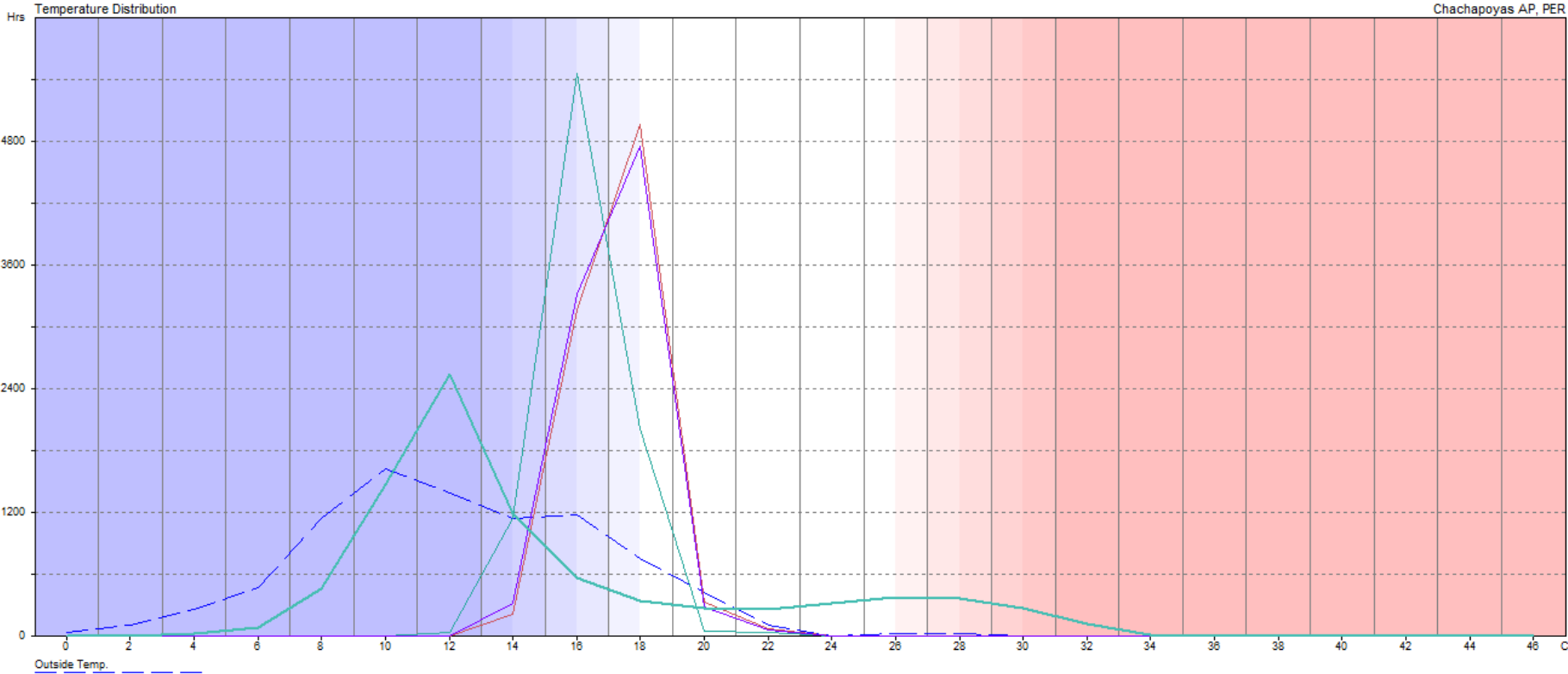


Figura 49: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de cascarilla de arroz (de 15 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.

Como era de esperarse ahora el mayor tiempo, las temperaturas interiores en las habitaciones son mayores. Para la sala-comedor y el dormitorio 2, el mayor tiempo la temperatura esta alrededor de los 18 °C, mientras que para el dormitorio 1, el mayor tiempo la temperatura está alrededor de los 16 °C.

Una vez realizado el análisis, utilizando los materiales tradicionales o de la zona, pasaremos a utilizar materiales aislantes comerciales, para posteriormente realizar las discusiones correspondientes.

4.3.3.5 Adobe, lana de vidrio y madera

La lana de vidrio es un material aislante comercial, que se puede encontrar en los distribuidores de material de construcción en la ciudad de Chachapoyas. Por esta razón también se lo consideró en el presente estudio como una opción.



Figura 50: Lana de vidrio comercial AISLANGLASS

A continuación, se muestran sus propiedades térmicas.

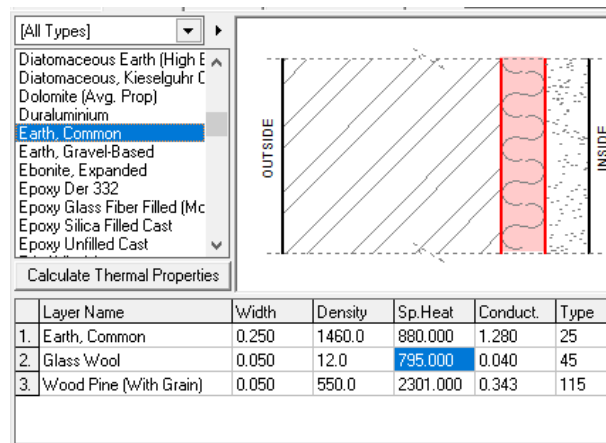


Figura 51: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), lana de vidrio y madera de pino

A continuación, se muestran los resultados para esta nueva combinación de materiales.

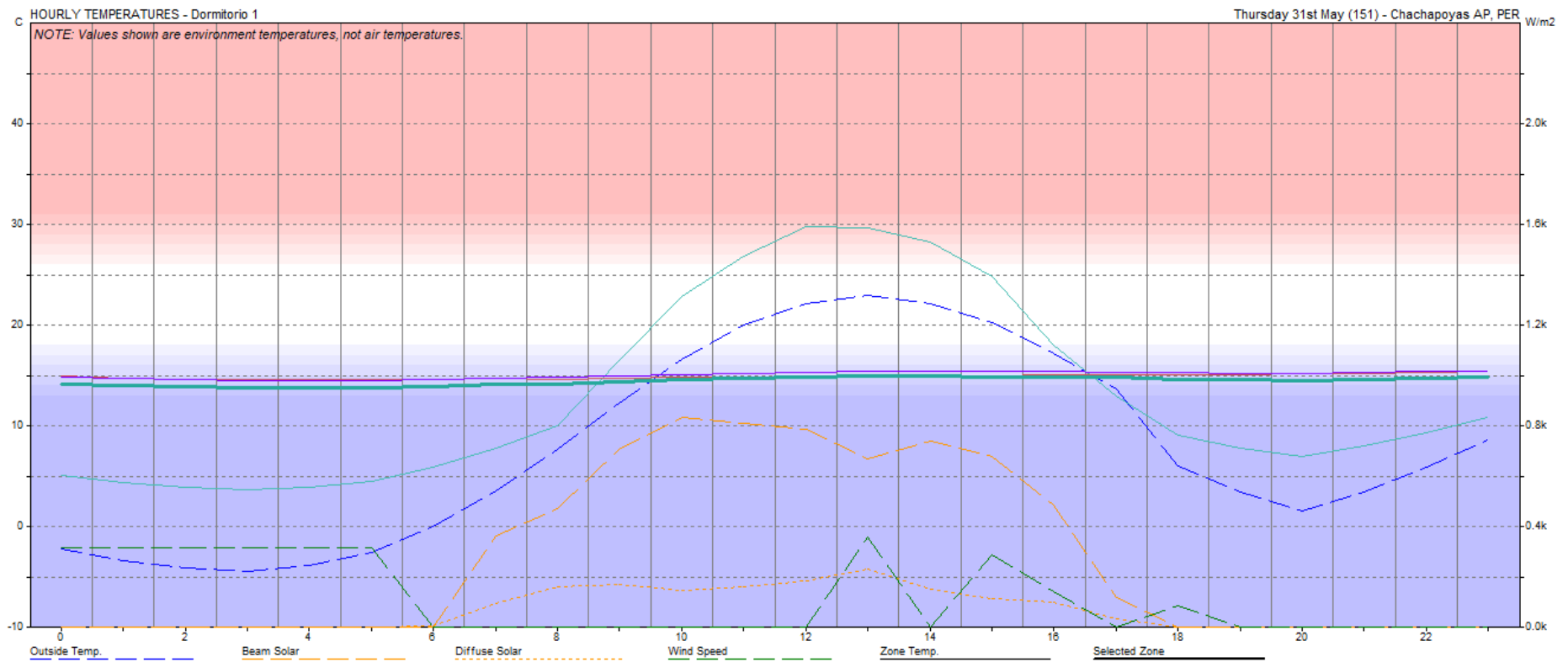


Figura 52: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa de fibra de vidrio comercial.

Come se puede apreciar, respecto a las condiciones iniciales, se observa un incremento de las temperaturas en el interior de las habitaciones, llegando a los 15 °C.

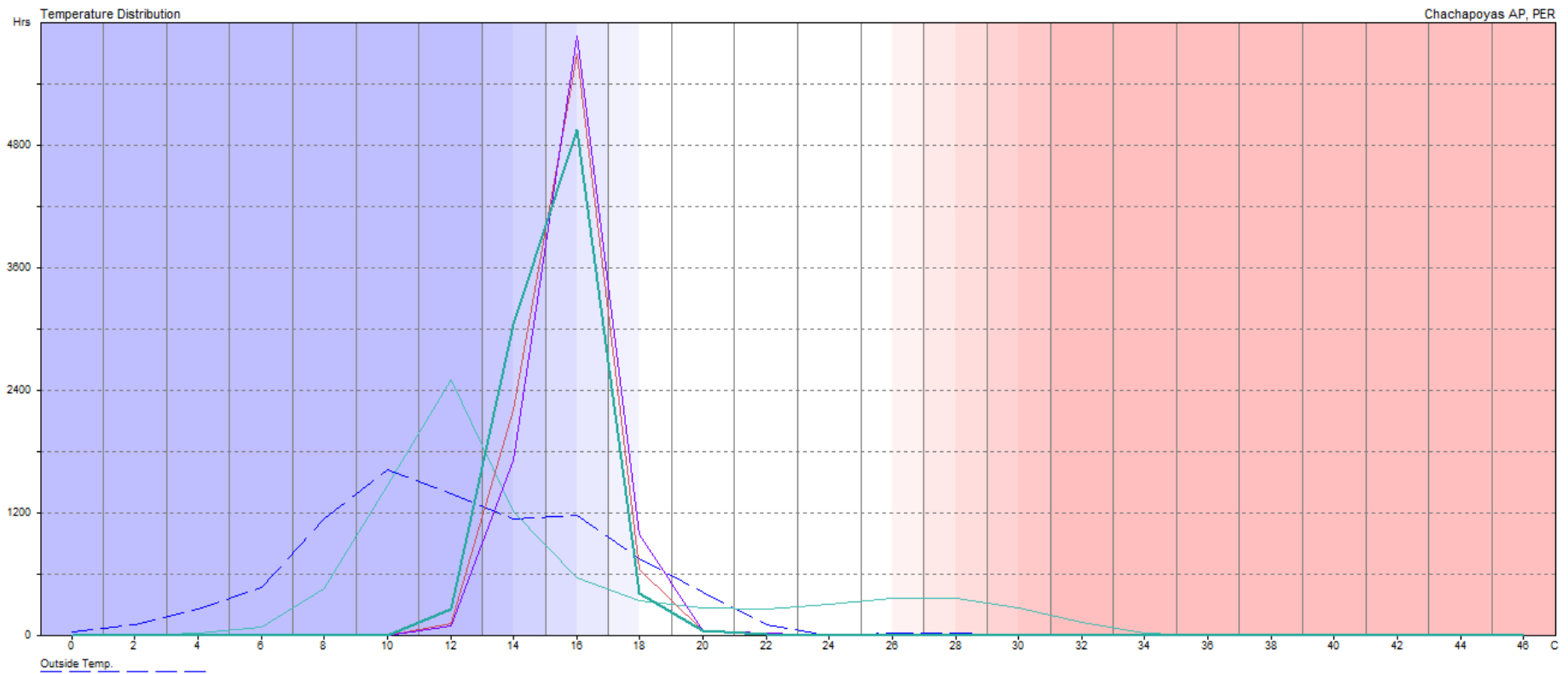


Figura 53: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de lana de vidrio comercial (de 5 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.

Como se puede apreciar la cantidad de horas a una mayor temperatura se ha incrementado con respecto a las condiciones iniciales de la vivienda. Ahora el mayor tiempo las habitaciones están a 16 °C.

4.3.3.6 Adobe, poliestireno expandido y madera de pino

El poliestireno expandido, es otro aislante térmico que puede ser adquirido en los centros comerciales de materiales de construcción de la ciudad de Chachapoyas. Por esta razón también ha sido utilizada para las simulaciones, además de su menor precio en comparación con la lana de vidrio.

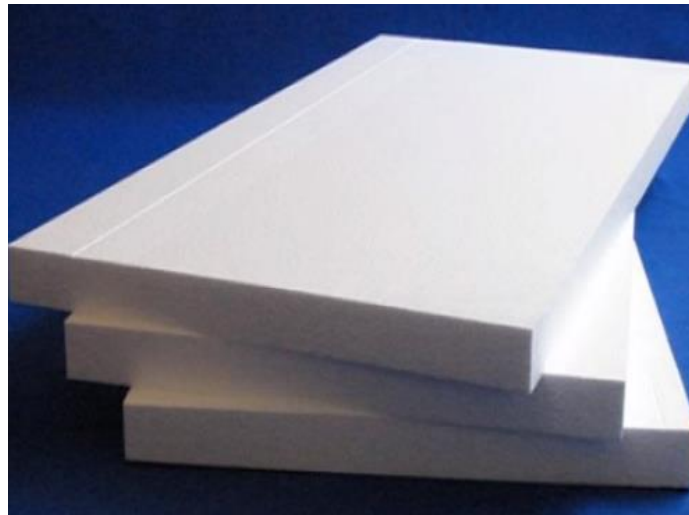


Figura 54: Poliestireno expandido comercial

Las propiedades térmicas del poliestireno expandido son las siguientes:

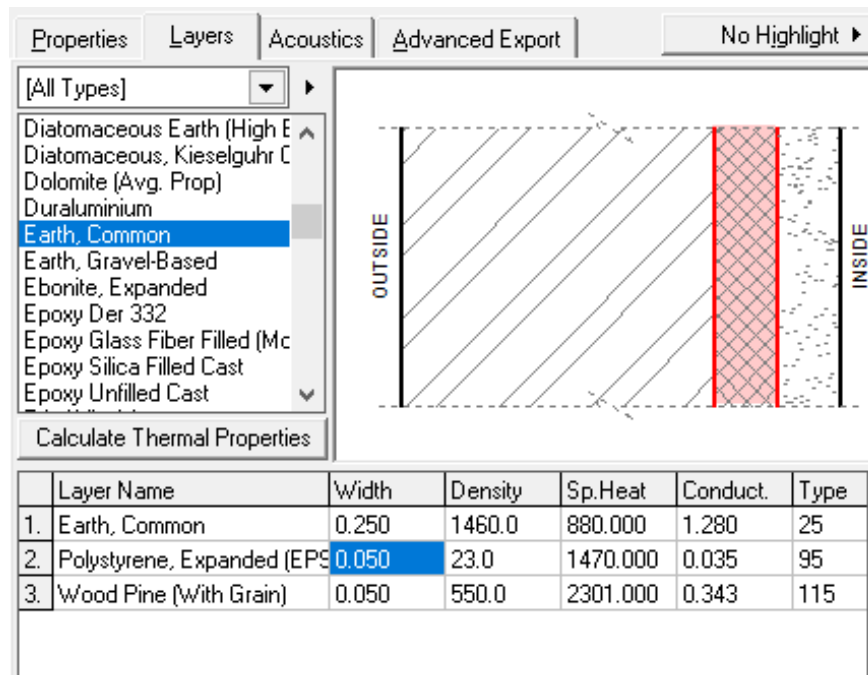


Figura 55: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para el adobe (tierra común), poliestireno expandido y madera de pino

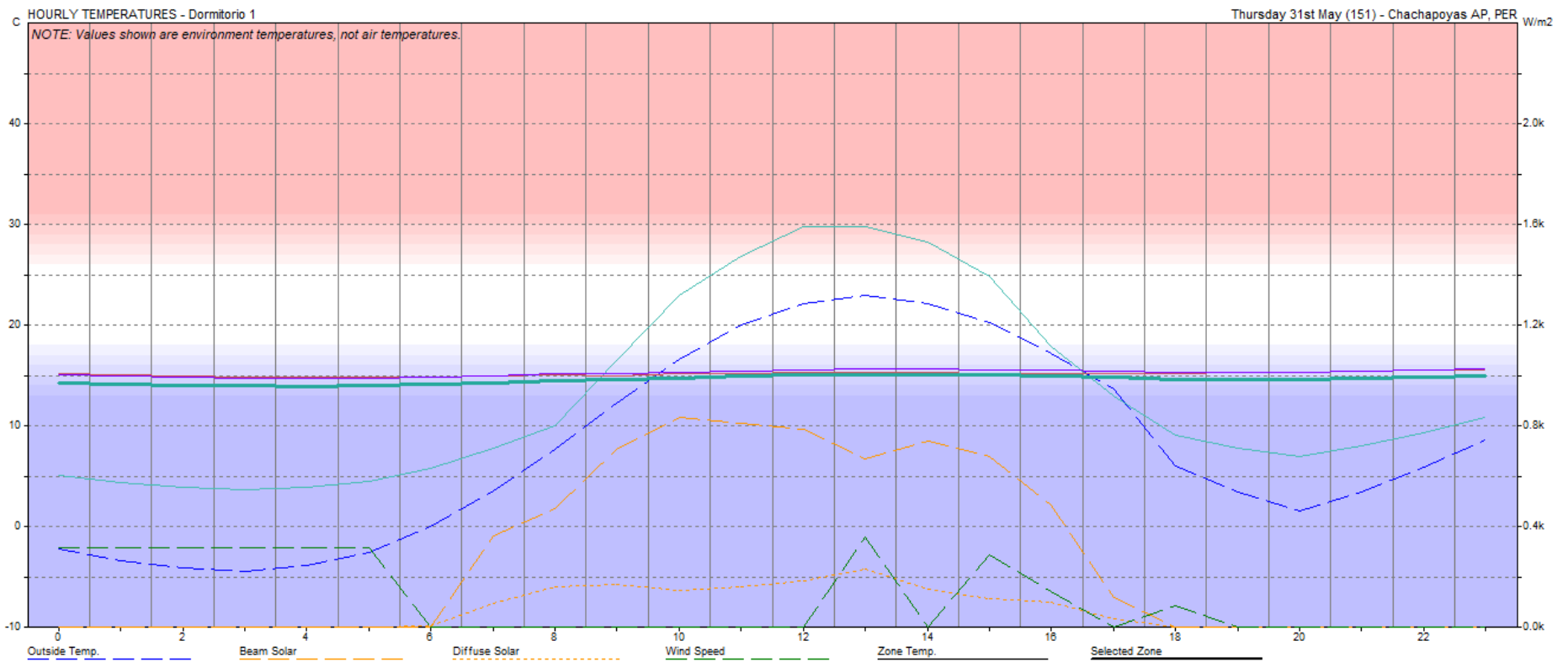


Figura 56: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa de polipropileno expandido comercial.

Se aprecia una mejora con respecto a las condiciones iniciales cuando se utiliza propileno expandido. Las temperaturas en la sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2, están en los 15 °C.

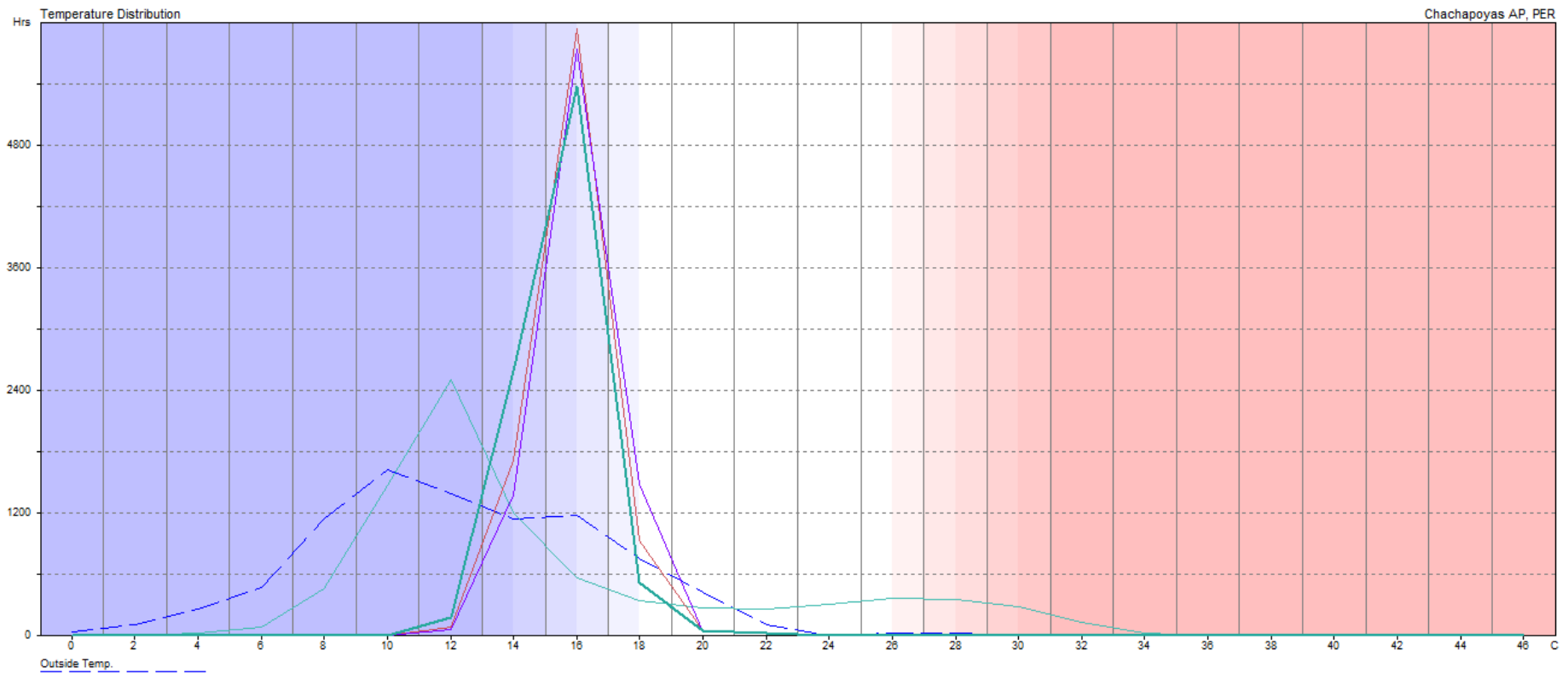


Figura 57: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de polipropileno expandido (de 5 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.

Al igual que para el caso de la lana de vidrio, el mayor tiempo las habitaciones están a 16 °C.

4.3.3.7 Capa de poliestireno expandido de 10 cm

Estos dos materiales comerciales, lana de vidrio y poliestireno expandido mejoran el nivel de aislamiento de la vivienda y por ende aumentan la temperatura dentro de las habitaciones. Ambos materiales dan resultados muy similares para una capa de 5 cm de espesor. Se ha considerado 5 cm (aproximadamente 2 pulgadas), por ser una medida comercial de ambos materiales.

Si se aumenta el espesor de la capa de material aislante, obviamente las condiciones van a mejorar. Para realizar esto se ha realizado una simulación adicional, en la cual se considera una capa de 10 cm de espesor de poliestireno expandido, ya que es el más económico y se obtienen los mismos resultados indistintamente de cual se utilice.

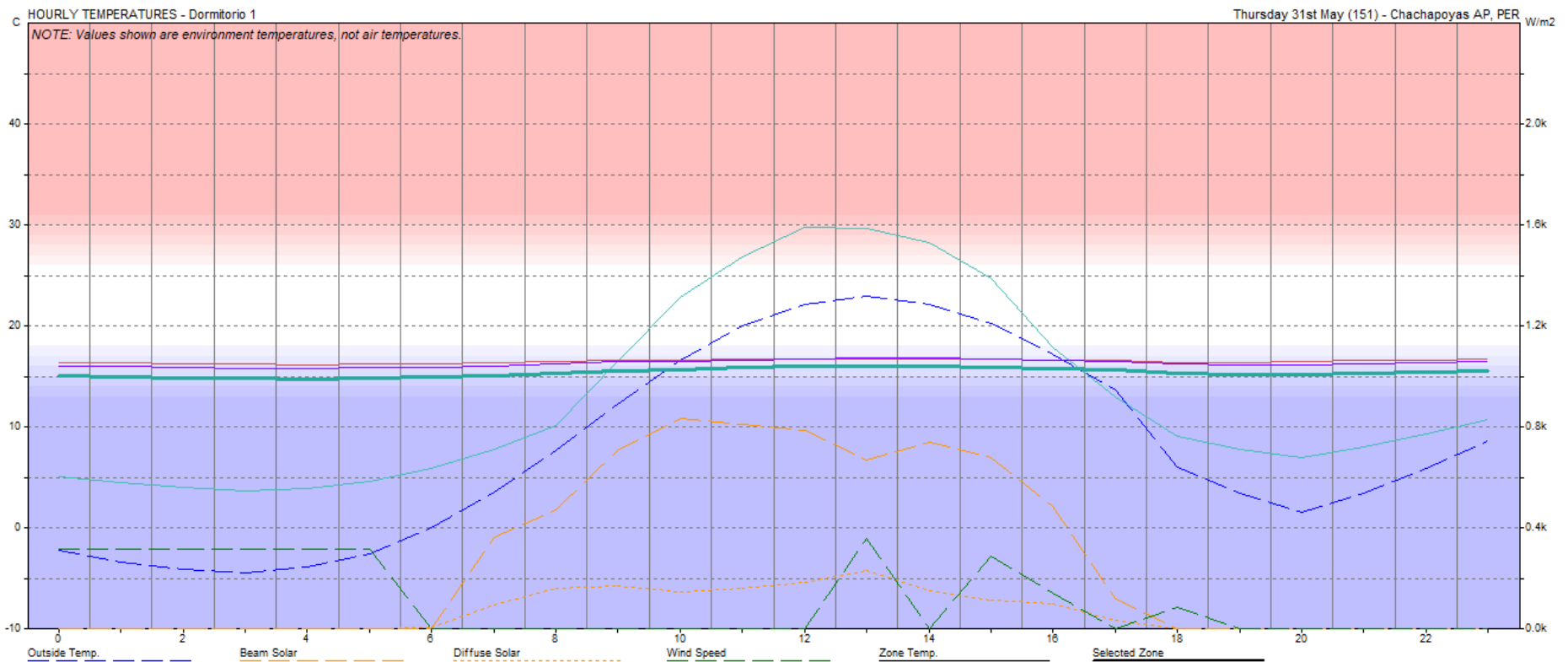


Figura 58: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de adobe, madera y capa de polipropileno expandido comercial (de 10 cm de espesor).

En este caso se consigue temperaturas más altas que en caso anterior. Las temperaturas en las habitaciones, ahora rondan los 17 °C para el día más frío de la data climatológica ingresada.

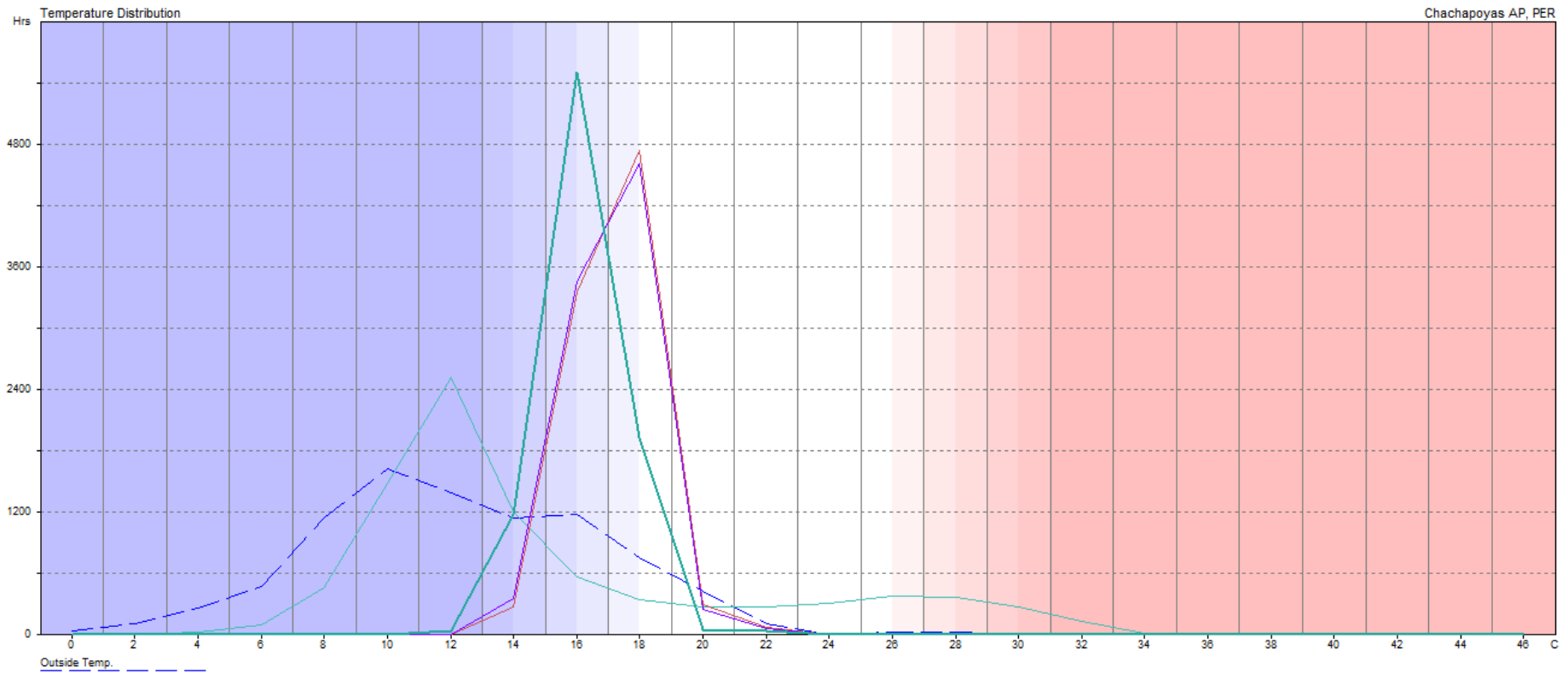


Figura 59: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de polipropileno expandido (de 10 cm) entre las capas de adobe y madera de pino.

Como es de esperarse, se produce un incremento en las horas de temperaturas altas. Siendo ahora para la sala-comedor y el dormitorio 2 la temperatura de 18 °C la más frecuente y los 16 °C para el dormitorio 1.

4.3.3.8 Madera de pino y poliestireno expandido

En este caso se va a obviar el adobe, ya que tiene una conductividad térmica mucho más alta que la madera. En este sentido se va a utilizar dos capas de madera, una externa y una interna (cada una de 2,5 cm), y una capa intermedia de poliestireno de 15 cm.

A continuación, se muestran la distribución de las capas de materiales.

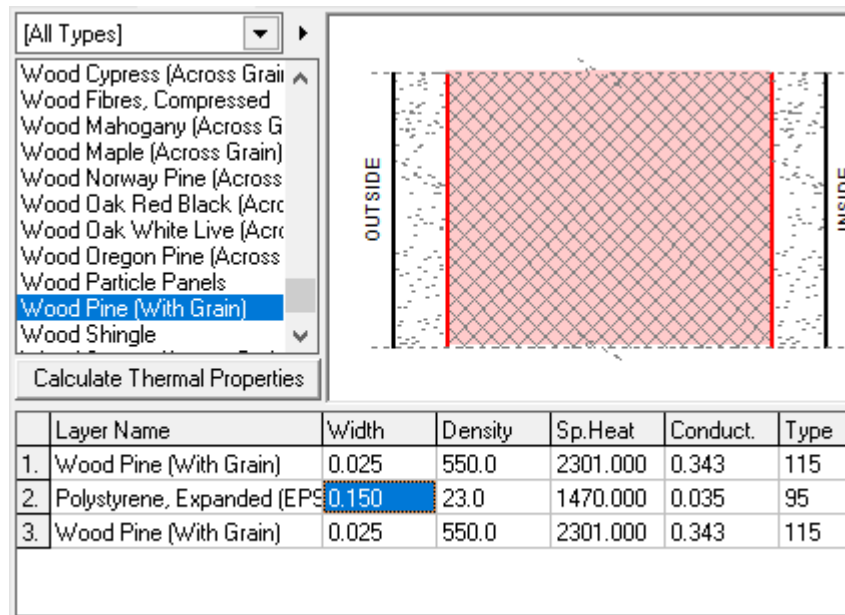


Figura 60: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para las capas de madera de pino y poliestireno expandido.

A continuación, los resultados de esta combinación de materiales.

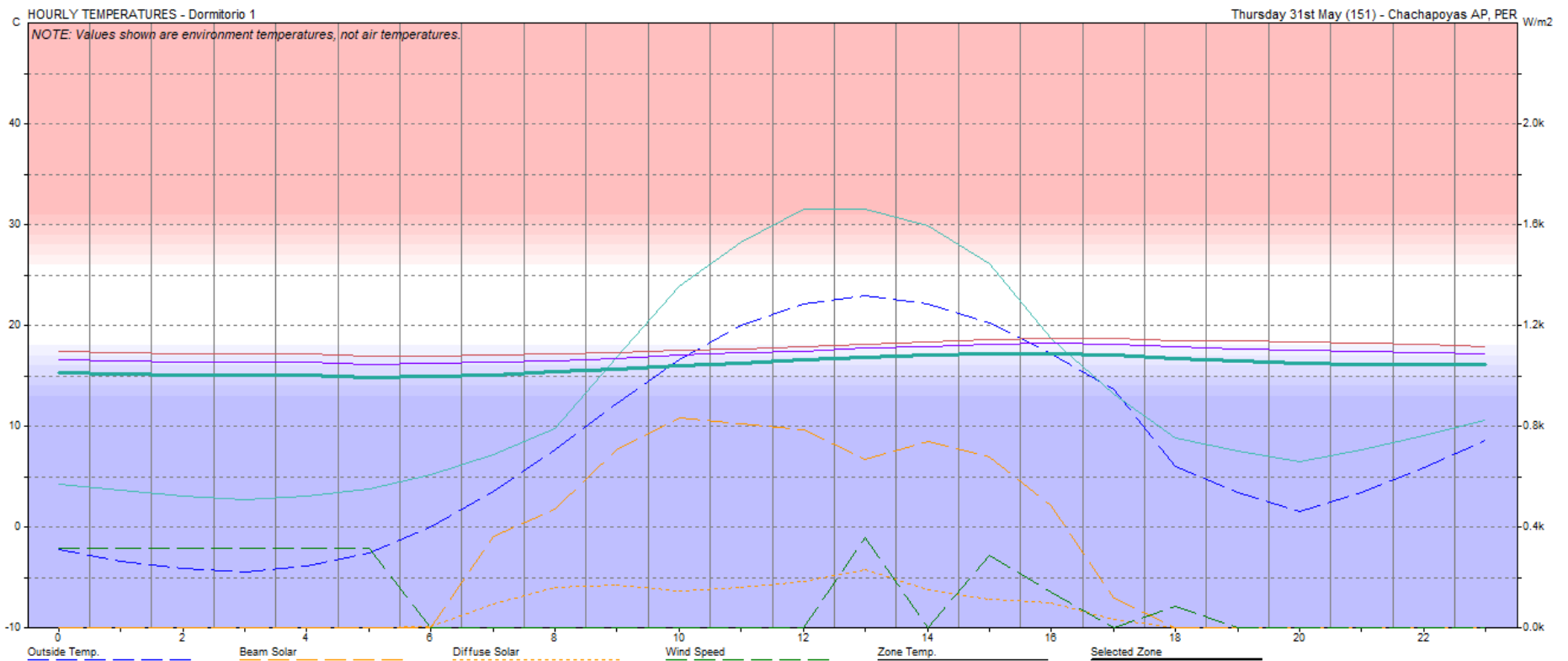


Figura 61: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de madera de pino y una capa de polipropileno expandido comercial (de 15 cm de espesor).

Al incrementar el espesor de la capa de poliestireno expandido, el nivel de aislamiento térmico se incrementa, consiguiendo temperaturas de 18 °C en la sala-comedor y el dormitorio 2, y de 17 °C en el dormitorio 1.

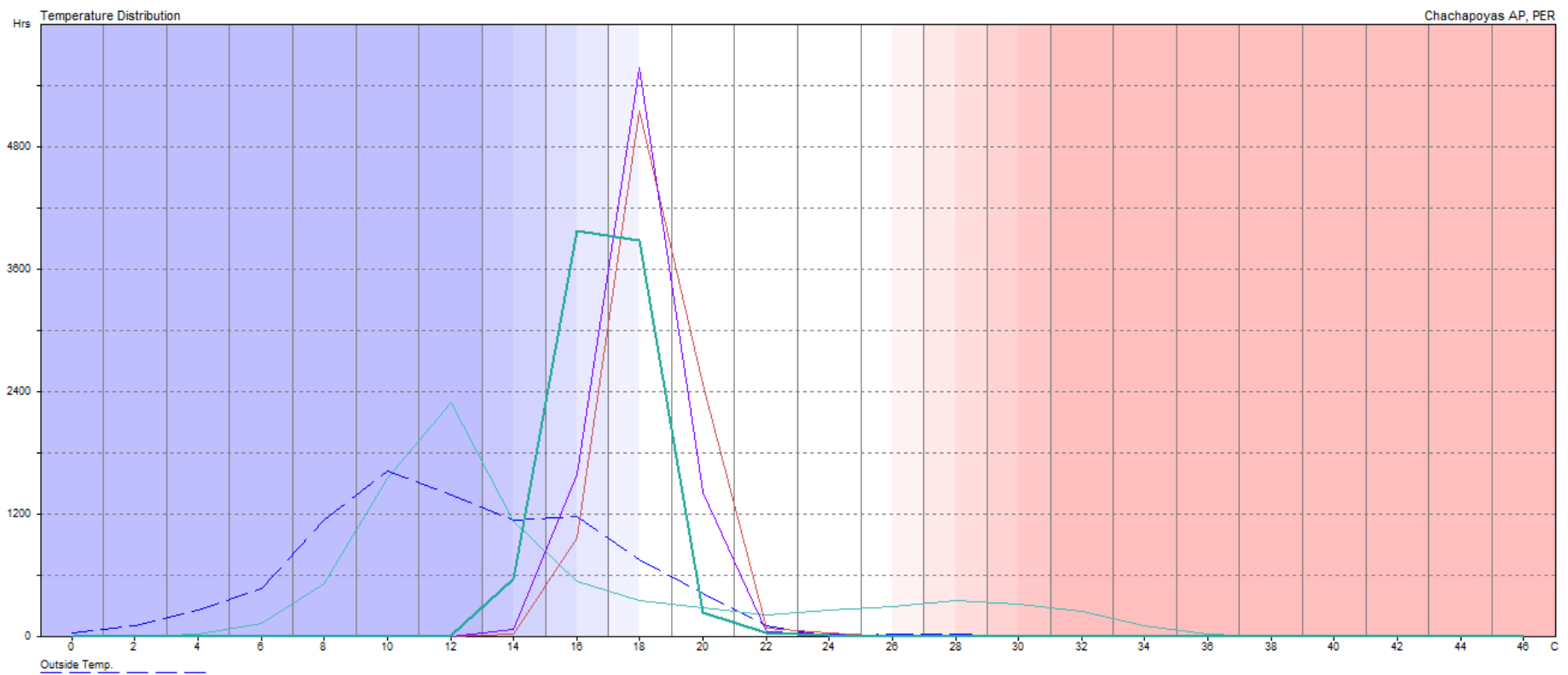


Figura 62: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de poliestireno expandido (de 15 cm) entre dos capas de 2,5 cm madera de pino.

La temperatura de 18 °C en la sala-comedor y el dormitorio 2 es la predominante. Así también, la temperatura de 17 °C es la predominante en el dormitorio 2.

4.3.3.9 Madera de pino y cascarilla de arroz

Al igual que el caso anterior se ha obviado el adobe. En este caso también se tiene dos capas de madera de pino, una capa exterior de ½ pulgada y una capa interior también de ½ pulgada. Y la capa intermedia de 15 cm estará constituida por cascarilla de arroz.

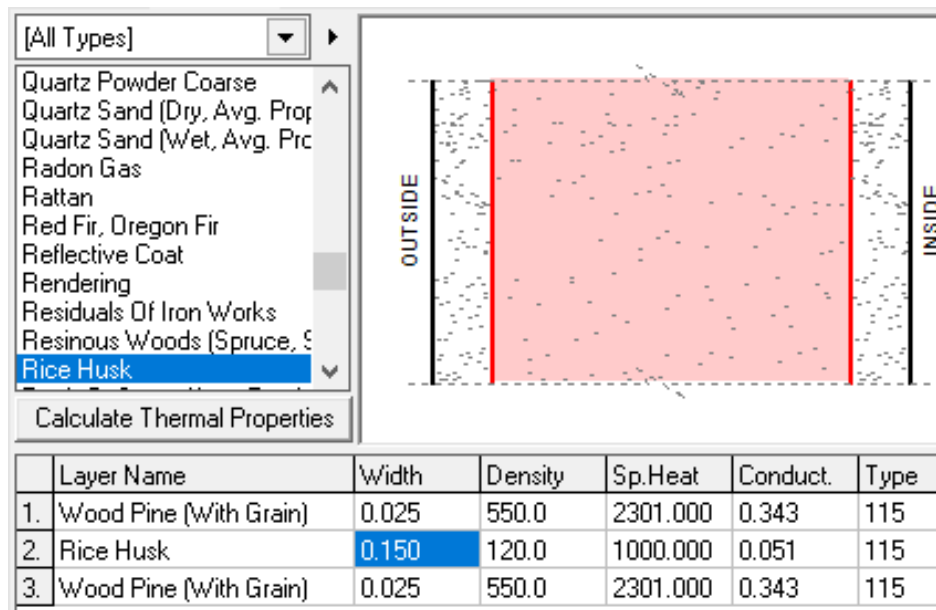


Figura 63: Espesor, densidad, calor específico y conductividad para las capas de madera de pino y poliestireno expandido.

La conductividad térmica de la cascarilla de arroz es levemente mayor que la del poliestireno expandido. Es de esperarse que los resultados de aislamiento térmico sean muy similares.

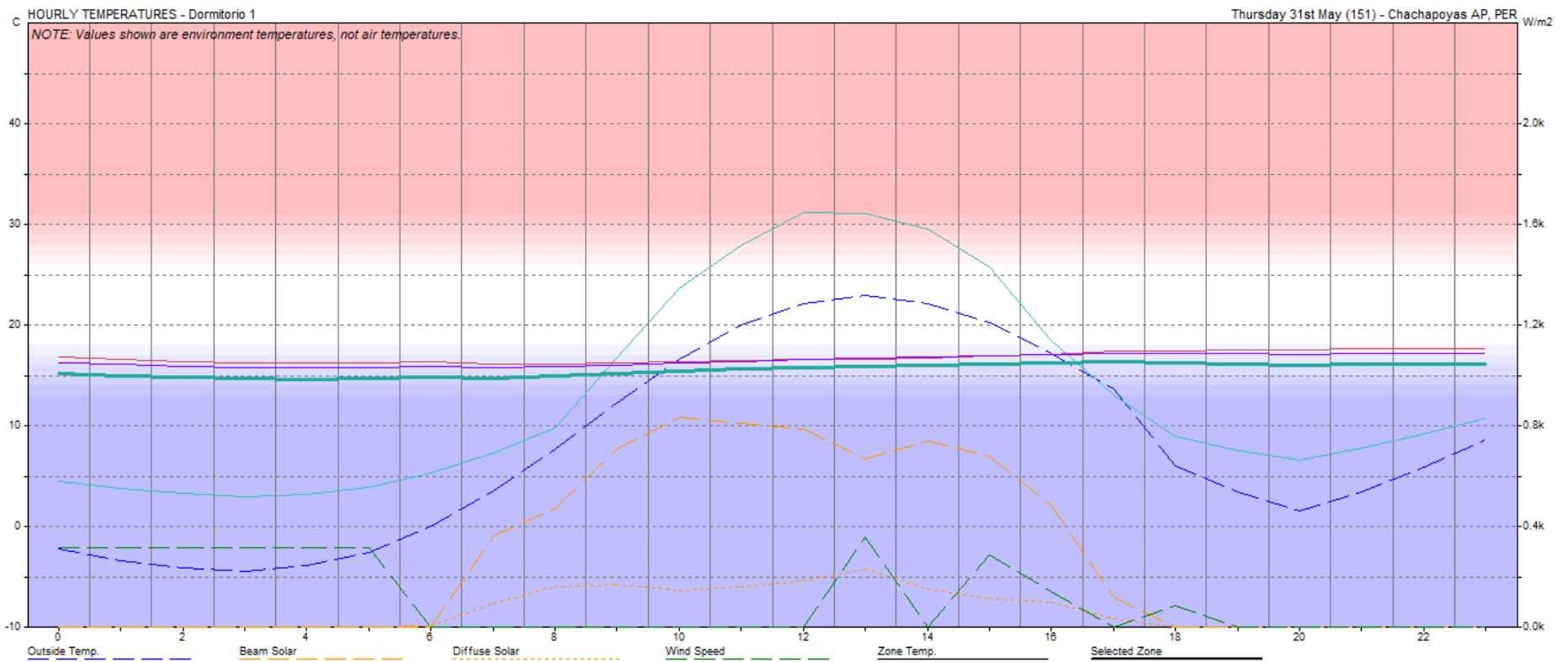


Figura 64: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de madera de pino y una capa de cascarilla de arroz (de 15 cm de espesor).

Los resultados son levemente inferiores a los obtenidos con la capa intermedia de poliestireno expandido.

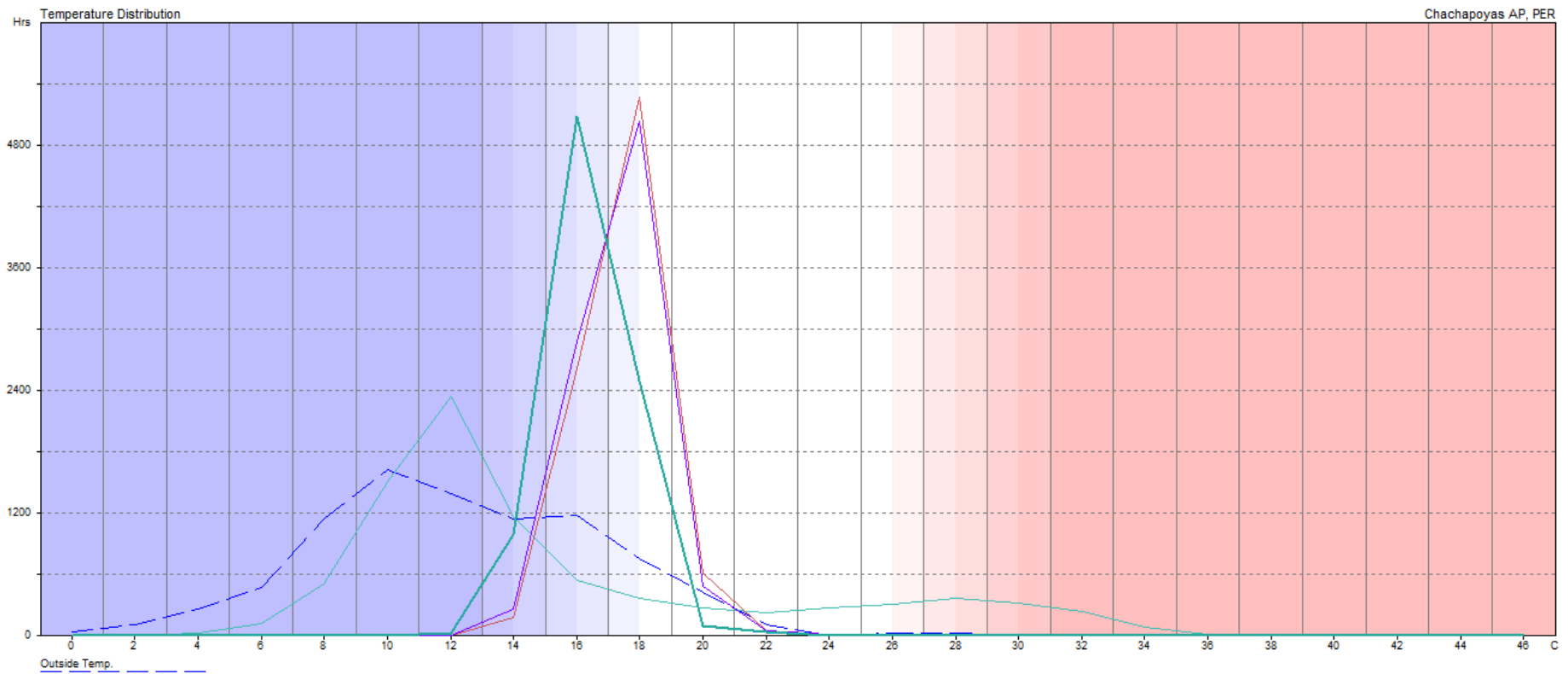


Figura 65: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de polipropileno expandido (de 15 cm) entre dos capas de 2,5 cm madera de pino.

Los resultados son muy similares para el uso de poliestireno expandido. Existen mayor frecuencia de temperaturas alrededor de los 18 °C para el dormitorio 2 y la sala-comedor y mayor frecuencia de temperaturas alrededor de los 16 °C para el dormitorio 2.

4.3.3.10 Madera de pino, poliestireno expandido y cascarilla de arroz

De acuerdo a los resultados obtenidos hasta ahora, se puede incrementar el espesor de la capa de poliestireno expandido y tendremos mejores resultados. Sin embargo, dado que el poliestireno expandido es un material que tiene un mayor costo, y teniendo en cuenta la abundancia de cascarilla de arroz se ha optado por utilizar una combinación de estos dos materiales aislantes.

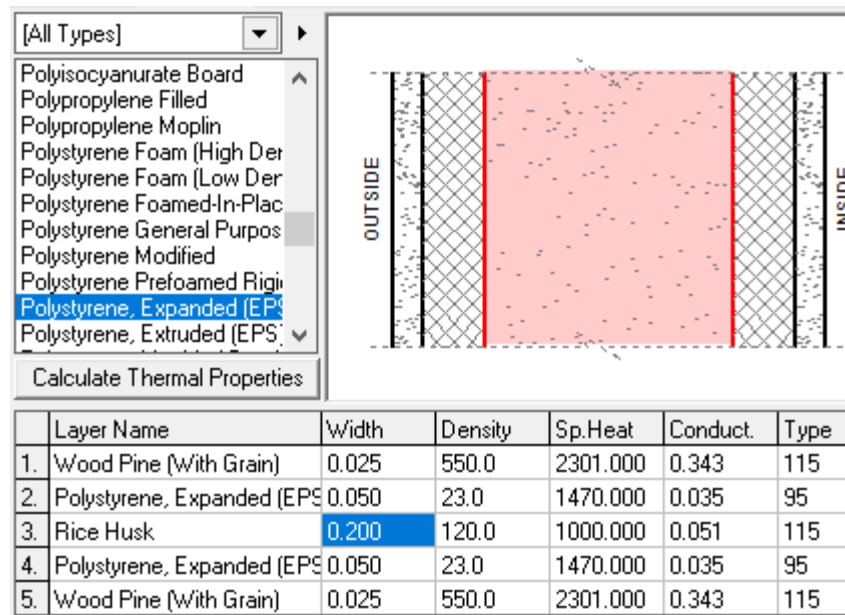


Figura 66: Espesor, densidad, calor específico, conductividad y distribución para las capas de madera de pino, poliestireno expandido y cascarilla de arroz

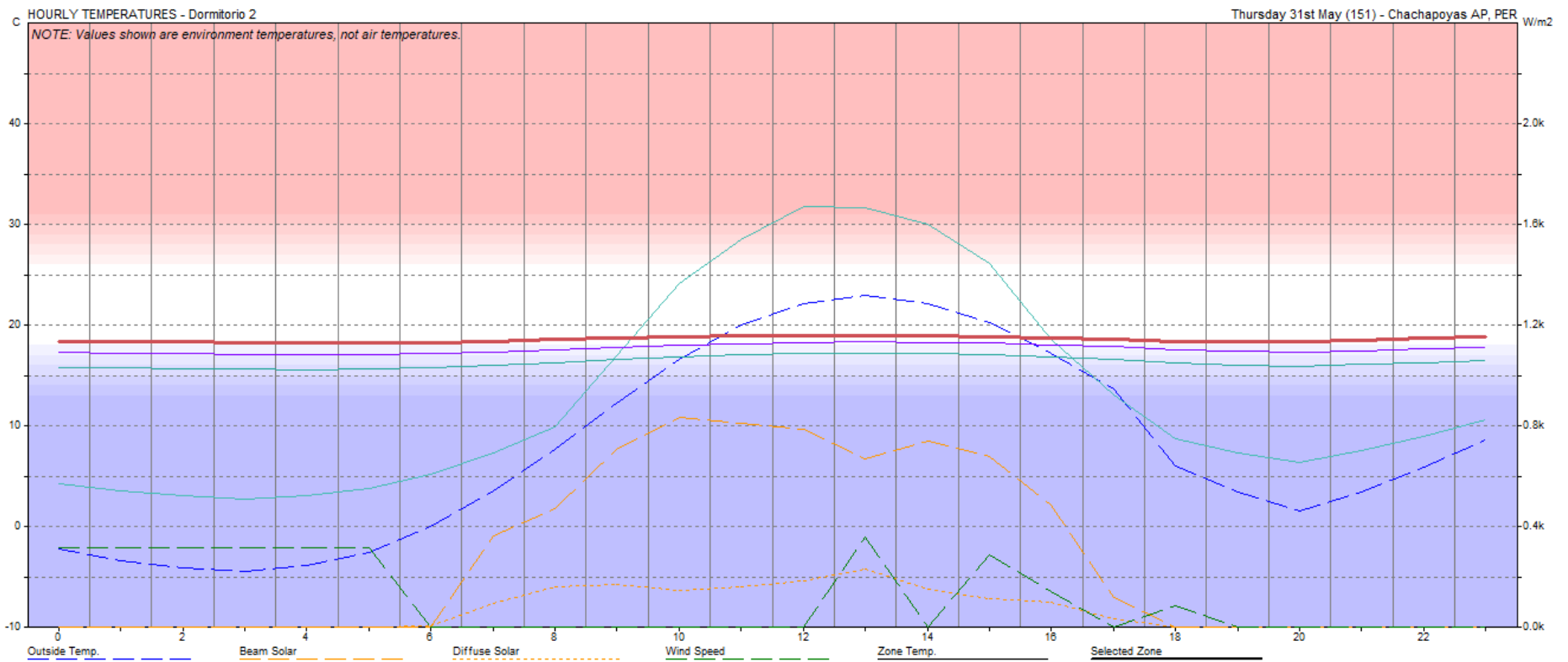


Figura 67: Distribución de temperaturas a lo largo del día más frío en la cocina, sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2 para pared constituida por capas de madera de pino, dos capas de polipropileno expandido (cada una de 5 cm) y una capa de cascarilla de arroz (de 20 cm de espesor).

Con esta combinación de materiales se consiguen temperaturas de 19 °C en el dormitorio 2 y de 17 a 18 ° C en la sala-comedor y dormitorio 1.

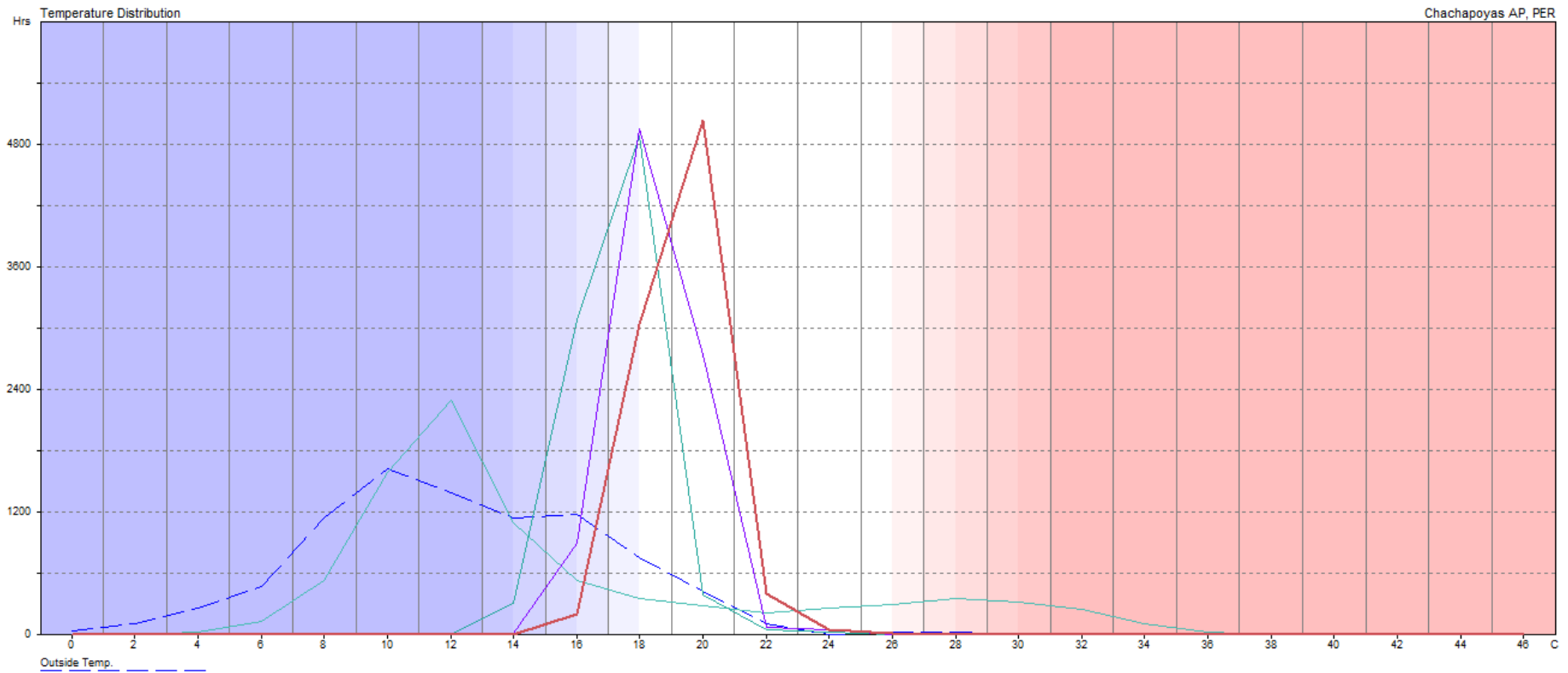


Figura 68: Distribución de las temperaturas en horas para todo un año utilizando una capa intermedia de cascarilla de arroz (de 20 cm) entre dos capas de polipropileno expandido de 5 cm cada una y dos capas (exterior e interior) de madera de pino.

Los resultados mejoran considerablemente. Existen mayor frecuencia de temperaturas alrededor de los 20 °C para el dormitorio 2 y mayor frecuencia de temperaturas alrededor de los 18 °C para el dormitorio 1 y la sala-comedor.

A continuación, se discutirán los resultados obtenidos en las simulaciones.

V.- DISCUSIÓN

Para las condiciones iniciales de la vivienda, el análisis para el día más frío de la data ingresada (el 31 mayo) ha demostrado que las temperaturas son muy bajas, en las habitaciones. En el dormitorio 1, dormitorio 2 y sala-comedor la temperatura interior para el día más frío es de 13 °C. Además, la frecuencia de temperaturas muestra que a lo largo del año las temperaturas de las habitaciones están alrededor de los 14 °C para la sala-comedor, dormitorio 1 y dormitorio 2. Mientras que la cocina su mayor frecuencia de temperatura está alrededor de los 12 °C.

Cabe indicar también que, en el caso de la cocina, por tener tres de sus cuatro paredes en contacto directo con el exterior, su temperatura está sometida a las variaciones que se den en el exterior. Cabe indicar que la cocina es una habitación que debido a su utilidad presenta calor proveniente de fuentes internas y además tiene bajas horas de presencia de ocupantes, en comparación con la sala-comedor o los dormitorios. Por esta razón, en los análisis posteriores que se han realizado, no se ha considerado a la cocina como un objetivo de mejora, pues sus mismas prestaciones y emisión de calor proveniente de fuentes externas eleva su temperatura.

Ante esta situación de temperaturas que están fuera de la zona de confort en la vivienda, se realizaron simulaciones para aplicar métodos pasivos de mejora del confort térmico en la vivienda. Entre estos métodos están el cambio de orientación para aprovechar la radiación solar y la inserción de materiales aislantes en las paredes de la vivienda.

De acuerdo con los resultados, se ha obtenido una orientación óptima de la vivienda para aprovechar de mejor manera la radiación solar; es decir que reciba mayor radiación solar durante el período de bajas temperaturas y menos radiación durante el período de temperaturas altas. En este sentido se encontró que la vivienda debe tener una orientación de 27° hacia el este medidos con respecto al norte.

Coincidentemente la vivienda tiene aproximadamente dicha orientación, por lo que no necesitaría hacerle modificaciones adicionales con respecto a la orientación.



Figura 69: La orientación actual de la vivienda es de 30° hacia el este con respecto al norte

Se realizó un análisis de sombras en la vivienda para determinar la mejor orientación para el aprovechamiento de la radiación solar. Al igual que en Faizi et al (2011), el software Ecotect, es capaz de realizar dicho análisis y mostrar el rango de sombras para un día determinado. De esta manera, en el presente estudio se realiza el análisis de rango de sombras para el día más frío, encontrándose que la orientación actual (coincidente con la orientación optima), evita que la mayoría de habitaciones tengan un exceso de sombras durante el día, lo cual tendría efectos térmicos negativos.

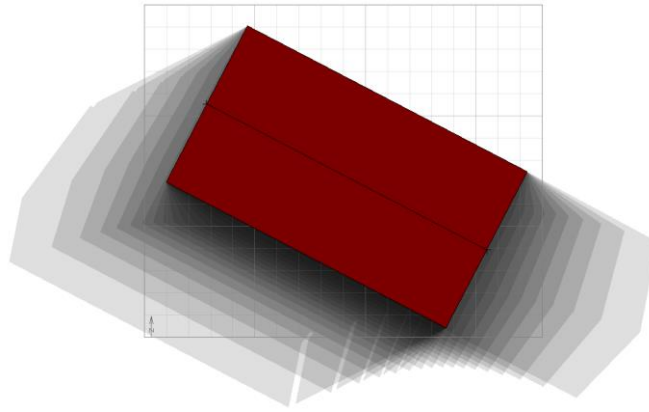


Figura 70: rango de sombras para el día más frío de la data climatológica ingresada.

Como se puede apreciar las paredes del dormitorio 1, dormitorio 2 y sala-comedor no presenta sombras y están expuestas a la radiación solar.

Los niveles de iluminación en la vivienda son muy bajos. Esto es obvio porque con la intención de aislar térmicamente la vivienda, se le ha construido solamente una pequeña ventana en el dormitorio 1. De esta manera se ha sacrificado el nivel de iluminación natural en el interior de las habitaciones. Sin embargo, esto repercute negativamente en la eficiencia energética de la vivienda, pues la iluminación artificial incrementa el consumo eléctrico. Además, la ergonomía se ve afectada ya que actividades como el estudio u otras que requieran agudeza visual, se realizan mejor con iluminación artificial.

Para mejorar las condiciones térmicas de la vivienda se ha simulado modificaciones en la composición de las paredes de la vivienda, insertando materiales con propiedades de aislamiento térmico. Para ello se ha elegido primero materiales tradicionales o de alta disponibilidad en la zona de estudio.

Como se comprobó en el estudio de Ramírez (2020), el adobe no es un buen aislante térmico, pues posee una conductividad que permite la transferencia de calor desde el exterior hacia el interior de la vivienda. Esto lo hemos comprobado en el presente estudio cuando se ha simulado las condiciones iniciales de la vivienda, pues sus paredes están construidas básicamente de adobe. Siendo esta la situación actual, las temperaturas alcanzadas en el interior de la vivienda son de

13 °C. Y esta situación mejora cuando se insertan otros materiales para reforzar las paredes de la vivienda.

Por ser el pino una madera abundante en la zona, se opta por colocar una capa de pino a continuación del adobe, sin embargo, esto no produce el incremento necesario de temperatura al interior de la vivienda. Se obtienen resultados similares cuando se utiliza una luz de aire intermedia entre la pared de adobe y la capa de madera de pino. Y sucede lo mismo cuando se inserta una capa intermedia de grava entre el adobe y la madera.

En la región Amazonas, precisamente, en la provincia de Utcubamba, localizada a 2 horas de Chachapoyas, existe una alta producción de arroz, siendo incluso la base de la economía de algunos de sus distritos. Debido a ello la cascarilla de arroz, un excedente de este proceso productivo, se convierte en un residuo agrícola de mucha abundancia en la región. En este sentido se simuló la utilización de una capa intermedia de 5 cm de cascarilla de arroz, instalada entre el adobe y la capa de madera de pino. Los resultados fueron satisfactorios, pues a diferencia de los casos anteriores se incrementó la temperatura interior en 2 °C.

Ante la notable mejora de la temperatura interior, tras el uso de la capa de cascarilla de arroz, se realizó un incremento del espesor de la capa de arroz hasta 15 cm, con lo cual la temperatura se incrementó aún más. Con este nuevo espesor se alcanzaron temperaturas internas de hasta 18 °C. De esta manera la cascarilla de arroz se convertiría en un material de la zona que podría ser utilizado como aislante térmico.

En varios estudios como el de Ardila & Niño (2021), Medina-Patrón & Escobar-Saiz (2019), Chen et al (2020), Jagruthi et al (2014), entre otros, optaron por la utilización de materiales comerciales. En el presente estudio también se realizaron simulaciones utilizando materiales comerciales, pues estos se encuentran disponibles en las tiendas de materiales de construcción en las ciudades más cercanas a la zona de estudio.

Los materiales comerciales de mayor disponibilidad son la lana de vidrio, la cual comercialmente se la puede encontrar como Gyplac, Aislanglass, Frescasa, entre

otros. El segundo material comercial es el poliestireno expandido, el cual por su mayor demanda se lo puede encontrar en diferentes marcas. Para ambos materiales, el espesor para las presentaciones comerciales es de 2 pulgadas o 5 cm.

En este contexto se realizaron sendas simulaciones empleando una capa intermedia de 5 cm de lana de vidrio y de poliestireno expandido, colocados entre el adobe y la capa de madera. Para ambos materiales se obtuvieron resultados muy similares. Las temperaturas en el interior de la vivienda se incrementaron hasta los 16 °C. La conductividad térmica de ambos materiales, son muy bajas y muy similares entre sí, por lo tanto, incrementando el espesor de la capa intermedia se incrementaría el nivel de aislamiento y con ello las temperaturas interiores. Debido a que el poliestireno expandido tiene una mayor disponibilidad comercial se optó por realizar una segunda simulación incrementando el espesor de la capa de poliestireno expandido a 10 cm, con lo cual se obtuvieron resultados mucho mejores. Se alcanzaron temperaturas interiores de hasta 17 °C.

Debido a que el adobe no es un buen material aislante, se realizaron simulaciones, en las cuales se retiraba la capa de adobe y solamente se utilizó una capa de material aislante entre dos capas de madera de pino de 2,5 cm cada una. Primero se utilizó una capa de intermedia de poliestireno expandido de 15 cm de espesor, posteriormente se reemplazó el poliestireno por una capa de cascarilla de arroz. En ambos casos se obtuvieron similares resultados, alcanzando temperaturas de hasta 18 °C.

Incrementando el espesor de la capa intermedia de material aislante se mejora el nivel de aislamiento, por tanto, se propone una última combinación que utilice tanto la cascarilla de arroz, como el poliestireno expandido. Esta vez se mantienen las capas exterior e interior de madera de pino (de 2,5 cm cada una), que es material de la zona y que sirve como estructura contenedora de los materiales intermedios. Se insertan dos capas (de 5 cm) de poliestireno expandido, cada una a continuación de las capas de madera exterior e interior. Y finalmente, en el centro, una capa de 20 cm de cascarilla de arroz (ver Figura 66). Con esta propuesta se alcanzan

temperaturas de hasta 20 °C en el interior de la vivienda, lo cual esta dentro del rango de confort térmico.

De esta manera, se logra mejorar las condiciones térmicas dentro de la vivienda y se propone la reutilización de un material residual abundante en la zona. Se evita la utilización de materiales comerciales obtenidos tras procesos de fabricación que involucran la generación de gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global. Además, la utilización de residuos agrícolas como la cascarilla de arroz, crea conciencia ambiental en la población de la zona, lo que contribuye a mejorar la calidad de vida de los pobladores.

VI.- CONCLUSIONES

1. Las condiciones climatológicas de la provincia de Chachapoyas, especialmente en la localidad de Huancas, cumplen los requisitos para convertirse en una zona de friaje en los meses de julio y agosto, que son en promedio los meses donde se alcanzan las temperaturas más bajas.
2. Las viviendas tradicionales del distrito de Huancas, en la provincia de Chachapoyas no cuentan con el nivel de aislamiento necesario para mantener condiciones de confort térmico interior en las temporadas de friaje. Su construcción predominante en adobe, no presenta las mejores prestaciones de aislamiento térmico.
3. En el proceso constructivo de las viviendas tradicionales, con la intención de obtener mayor nivel de aislamiento térmico se ha sacrificado otros factores importantes para la ergonomía de los ocupantes y para la eficiencia energética de la vivienda, como es la iluminación natural.
4. El software Ecotect de Autodesk, con sus múltiples herramientas de cálculo permite estudiar las condiciones iniciales de la edificación, obtener una orientación óptima, analizar el nivel de radiación solar, simular la utilización de diferentes materiales termo aislantes y realizar un análisis térmico de la vivienda.
5. El adobe no es un material con propiedades termoaislantes destacables, frente a las condiciones climatológicas de la zona de estudio.
6. Como materiales aislantes comerciales y de disponibilidad en la zona de estudio se tiene a la lana de vidrio y al poliestireno expandido, los cuales poseen propiedades termoaislantes muy parecidas, siendo el poliestireno expandido el de mayor disponibilidad comercial por lo que se convierte en una opción destacable para su utilización como material aislante en edificaciones altoandinas.
7. Como materiales aislante tradicionales o de la zona, se cuenta con madera de pino y con cascarilla de arroz. Teniendo como segundo beneficio de la madera el aporte estructural que le puede dar a la edificación, así como a los demás materiales termoaislantes.
8. La cascarilla de arroz posee propiedades termoaislantes muy similares a la de los materiales comerciales. Además, su alta disponibilidad y reutilización a partir

de residuo agrícola lo convierte en una opción destacable para ser utilizado como material aislante.

9. La combinación de poliestireno expandido, madera de pino y cascarilla de arroz, mejora considerablemente el nivel de aislamiento de las paredes de la vivienda y da lugar al surgimiento de una opción económica y factible para mejorar la calidad de vida de las poblaciones altoandinas que anualmente son sometidas a temporadas de friaje.

VII.- RECOMENDACIONES

Se recomienda que investigaciones posteriores se realice la construcción de una vivienda a escala o un prototipo de vivienda donde se utilicen los materiales aislantes sugeridos por el presente estudio.

El Ecotect es un software ampliamente usado a nivel profesional, como de investigación. Sin embargo, el empleo de otros softwares similares nos permitiría contrastar los resultados obtenidos en el presente estudio, por esta razón se recomienda en estudios posteriores que se utilice otros softwares similares para realizar análisis térmicos.

En el presente estudio se empleó la cascarilla de arroz como material aislante de la zona, sin embargo, se recomienda la realización de análisis térmicos utilizando otros materiales aislantes de zonas altoandinas, como por ejemplo la lana animal, la cual podría ser obtenido a partir de auquénidos o ganado ovino.

Se recomienda que en estudios futuros se realice el diseño tanto estructural como térmico de una vivienda modular, cuya construcción pueda ser masificada en zonas altoandinas que son azotadas por las olas de friaje.

La vivienda utilizada para el presente estudio ha estado ubicada en una zona de pendiente muy reducida y no ha tenido viviendas o edificios contiguos. Sin embargo, para profundizar estudios sobre diseño de edificaciones térmicas se recomienda tener en cuenta el relieve topografía de la zona donde se encuentra la vivienda, así como las edificaciones contiguas o árboles que pudiesen afectar la incidencia de la radiación solar o el impacto de los vientos en la vivienda.

REFERENCIAS

Aboud, N. (2017). The analysis of passive design strategies to provide energy efficiency in residential buildings in Tripoli, Libya. Çankaya Üniversitesi. Retrieved from <http://earsiv.cankaya.edu.tr:8080/xmlui/han>

Adrián, Erick & Rojas, Flores & Bernardo, Luis & López-Sosa, Bernardo. (2019). Análisis multiparamétrico de una vivienda ecológica con indicadores de sustentabilidad y eficiencia energética.

Ardila Gelvez, E., & Niño Pineda, A. (2021). Diseño de prototipo de vivienda para clima frío, basado en lineamientos Passivhaus, ubicado en el Corregimiento de Berlín, Santander. Retrieved 9 October 2021, from <https://repository.usta.edu.co/handle/11>

Bahar, Y., Pere, C., Landrieu, J., & Nicolle, C. (2013). A Thermal Simulation Tool for Building and Its Interoperability through the Building Information Modeling (BIM) Platform. *Buildings*, 3(2), 380-398. doi: 10.3390/buildings3020380

Been, S. (2013): Economic benefits of green buildings highlighted, Insight Publishing; disponible en línea: <http://workplaceinsight.net/economic-benefits-of-green-buildings-highlighted/>.

Bernett, A.; Starkey, C. (2015): Designing for a Moving Target: Adapting Our Buildings to a Changing Climate, Terrapin Bright Green, LLC; disponible en línea: <https://www.terrapinbrightgreen.com/blog/2015/06/adapting-buildings-climate-change>.

BizEE Software Limited (n.d.): Degree Days.net - Custom Degree Day Data; disponible en línea: <http://www.degree-days.net>.

Cardenas, J., Pinto, G. and Plata, G. (2019). Herramienta metodológica para la evaluación energética mediante simulación de edificaciones en el trópico. *Revista UIS Ingenierías*, 18(2), 259-268. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7000036>.

Cencerrado Sánchez, C. (2015). Análisis bajo criterios energéticos y sostenibles de un centro docente en Les Franqueses del Vallès. Universitat Politècnica De Catalunya. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/78157>

Çengel, Yunus A., and Afshin J. Ghajar. *Transferencia De Calor Y Masa: Fundamentos Y Aplicaciones*. 4a. ed.--. México D.F.: McGraw Hill, 2011.

Chen, Z., Hammad, A., Kamardeen, I., & Akbarnezhad, A. (2020). Optimising Embodied Energy and Thermal Performance of Thermal Insulation in Building Envelopes via an Automated Building Information Modelling (BIM) Tool. *Buildings*, 10(12), 218. doi: 10.3390/buildings10120218

Corrales, M. (2012). Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz. Retrieved 9 October 2021, from <https://www.lareferencia.info/vufind/Recor>

Espinoza Paredes, R., Saavedra, G., Huaylla, F., Gutarra, A., Molina Fuertes, J., Barrionuevo, R., & Lau, L. (2009). Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr confort térmico en una vivienda altoandina del Perú. *Avances En Energías Renovables Y Medio Ambiente*, vol. 13. Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/>

Fisk, W.J. (2012): Health and Productivity Gains from Better Indoor Environments and their Implications for the U.S. Department of Energy, Lawrence Berkeley National Laboratory.

Flores, A; López-Sosa, L. (2019). Análisis multiparamétrico de una vivienda ecológica con indicadores de sustentabilidad y eficiencia energética.

Flores, A (2017) Simulación del desempeño térmico en viviendas altoandinas sostenibles con climatización pasiva en la provincia de “El Collao”, 2016.

Garín, Lucía. (2021). Modelado y análisis térmico en viviendas MEVIR. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería. Universidad de la República. Uruguay.

Gómez, A. (2018). Propuesta de arquitectura bioclimática para la localidad de Molinos (Distrito de Molinos, Jauja, Perú). Universidad Ricardo Palma. Retrieved from <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/>

Goodway Technologies (n.d.): Green building can reduce sick building syndrome; disponible en línea: <http://www.goodway.com/hvac-blog/2009/08/green-buildings-can-reduce-sick-building-syndromesbs/>.

Gonzalo. R; Vallentin. R (2014): Passive house design. Detail Green Books ASHRAE: Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y A-C (n.d.); <https://www.ashrae.org/>.

Faizi, F., Noorani, M., Ghaedi, A., & Mahdavinejad, M. (2011). Design an Optimum Pattern of Orientation in Residential Complexes by Analyzing the Level of Energy Consumption (Case Study: Maskan Mehr Complexes, Tehran, Iran). *Procedia Engineering*, 21, 1179-1187. doi: 10.1016/j.proeng.2011.11.2128

Gado, T., & Games, T. (2018). A Parametric Study to Optimize the Thermal Performance of Mongolian Self-built Houses in Terms of Energy Efficiency:: Towards a Cleaner Environment for Ulaanbaatar. *Passive And Low Energy Architecture (PLEA)*, 262-267. Retrieved from <https://discovery.dundee.ac.uk/en/publications/a-parametric-study-to-optimize-the-thermal-performance-of-mongoli>

Huanca Salazar, E. (2018). "Prototipo de Vivienda Rural Bioclimatizada Utilizando Energía Solar para Zonas frías en la Región Puno". *Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez*. Retrieved from <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/1683>.

Hermawan, & Sunaryo, Sunaryo & Kholil, A. (2020). The analysis of thermal performance of vernacular building envelopes in tropical high lands using Ecotect. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 423. 012004. 10.1088/1755-1315/423/1/012004.

Holguino Huarza, Antonio; Olivera Marocho, Luis Y Escobar Copa, Katterine Ursula (2018). Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú. *Rev. investig. Altoandín*. [online]. 2018, vol.20, n.3, pp.289-300. ISSN 2313-2957. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.394>.

India Energy Conservation Building Code (ECBC) Building Envelope Tip Sheet - Cool Roofs and Cool Pavements Toolkit. (2020). Retrieved 31 October 2020, from

<https://www.coolroof toolkit.org/knowledgebase/india-energy-conservation-building-code-ecbc-building-envelope-tip-sheet/>.

International Energy Agency (IEA) (2017): Building Energy Efficiency Policies Database; disponible en línea: <https://www.iea.org/beep/>.

Jagruthi, K. & Ciddarth, N. & M, Ramesh. (2014). Life cycle assessment of thermal insulating building materials using building information modelling. 9. 223-232.

The United Workplace (2018): Health, Well-being and Productivity in Commercial - the Impact of Green Buildings on People and Profit; disponible en línea: <http://www.theunitedworkplace.com/insights/health-well-being-and-productivity-in-commercialthe-impact>.

Medina-Patrón, N., & Escobar-Saiz, J. (2019). Envoltentes eficientes: relación entre condiciones ambientales, espacios confortables y simulaciones digitales. Revista De Arquitectura, 21(1). doi: 10.14718/revarq.2019.21.1.2140

Molina Fuertes, J., Horn Mutschler, M., & Gómez León, M. (2020). Evaluación sistemática del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda alto andina para lograr el confort térmico con energía solar. TECNIA, 30(1). doi: 10.21754/tecnia.v30i1.841.

Moncloa Guardia, C. (2017). Confort térmico: un sistema aislante para la vivienda alto andina fabricado con materiales reciclados. MÓDULO ARQUITECTURA CUC. Retrieved from <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/1132>

Physics Review Magazine Volume 29, 2., & Magazines, .. (2021). Physics Review Magazine Volume 29, 2019/20 Issue 1. Retrieved 9 October 2021, from <https://www.goodreads.com/book/show/52786370-physics-review-magazine-volume-29-2019-20-issue-1>

Ramírez Sánchez, D. (2020). Aprovechamiento de propiedades térmicas de materiales ancestrales usados en la construcción de edificios en Ecuador (adobe y caña guadua). Quito: UCE. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21470>.

Rodríguez, Sergio; Gonzales, Catalina (2020). Evaluación por simulación dinámica del comportamiento térmico en una casa interés social con la incorporación de estrategias de arquitectura bioclimática en Guanajuato, México. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Saavedra, Gonzalo (2014). Diseño, construcción y evaluación térmica de un módulo de vivienda rural en la localidad de Vilcallamas Arriba, distrito de Pisacoma, provincia Chucuito, región Puno. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería.

Sargentis, G., Kapsalis, V., & Symeonidis, N. (2009). Earth building. models, technical aspects, tests and environmental evaluation. Retrieved 9 October 2021, from <https://zenodo.org/record/3767019#.YW>

Somboonwit, N. (2011) Modeling for building energy performance improvement in accordance with the local climatic settings: a case of a generalizable building design of intermediate health care facilities in Thailand. (2014). Retrieved 9 October 2021, from <https://www.aivc.org/resource/modeling-building-energy-performance-improvement-accordance-local-climatic-settings-case>

Stoios, A., Bougiatioti, F., & Oikonomou, A. (2006). Thermal performance of a passive solar house for continental climate, in Florina, north-western Greece. Retrieved 9 October 2021, from <https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/handle/123456789/35205>

Thuesen, N., Kirkegaard, P., & Jensen, R. (2010). Evaluation of BIM and Ecotect for Conceptual Architectural Design Analysis. University Of Nottingham. Retrieved from <https://vbn.aau.dk/en/publications/evaluation-of-bim-and-ecotect-for-conceptual-architectural-design->

Vangimalla, Olbina, Issa and J. Hinze, "Validation of Autodesk Ecotect™ accuracy for thermal and daylighting simulations," Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC), 2011, pp. 3383-3394, doi: 10.1109/WSC.2011.6148034.

Vera, S; Ordenes, M. (2002). Evaluación del desempeño energo-térmico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios. *Revista Ingeniería de Construcción*. 17. 133-142.

WU, Q., & JO, H. (2015). A study on ecotect application of local climate at a residential area in chuncheon, korea. *Journal of environmental engineering and landscape management*, 23(2), 94-101. Doi: 10.3846/16486897.2014.980264

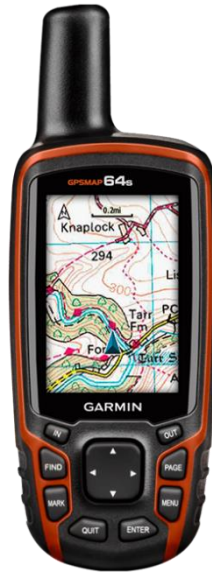
Yang, L., He, B., & Ye, M. (2014). Application research of ECOTECT in residential estate planning. *Energy And Buildings*, 72, 195-202. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.12.040

ANEXOS

ANEXO 3: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Modelamiento	El modelamiento es el uso de computadoras para simular y estudiar sistemas complejos utilizando las matemáticas, la física y la informática. (Sang, 2019)	Se define como la simulación computacional del comportamiento térmico de la vivienda que es objeto de estudio.	* Datos climatológicos **Dimensiones	*Temperatura, humedad, radiación * longitudes, espesores	Nominal
Vivienda térmica.	Son viviendas construidas para contrarrestar el frío, en base a la orientación, uso de materiales y recursos energéticos disponibles.	Se define como el conjunto de aspectos constructivos como orientación, materiales, que condicionan el confort térmico en el interior de la vivienda	Orientación Material	Grados sexagesimales Espesor	Nominal

ANEXO 4: Instrumento de recolección de datos



Receptor GPS

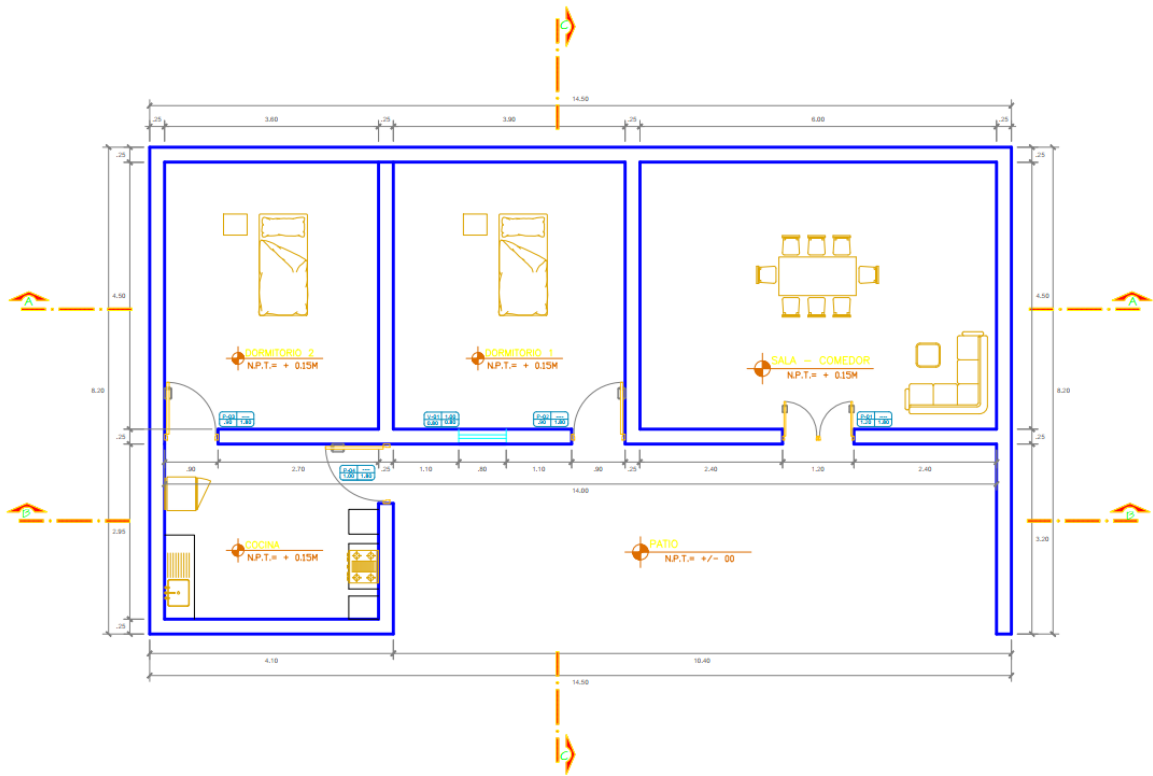


Cámara fotográfica



Wincha de 8 metros

En las páginas siguientes se muestran los planos de la vivienda.



Planos para registro de dimensiones de vivienda