

# Estrategias bioclimáticas pasivas para el confort térmico en viviendas de interés social Mesoandinas - caso ciudad de Puno



Diana Karen Pari Quispe

UNIVERSIDAD DE BRASÍLIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
PROGRAMA DE POSGRADUACIÓN EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

**ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PASIVAS PARA EL  
CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL  
MESOANDINAS - CASO CIUDAD DE PUNO**

**ARQ.<sup>a</sup> DIANA KAREN PARI QUISPE**

**ORIENTADOR: PROF. DR. CAIO FREDERICO E SILVA  
CO ORIENTADORA: PROF<sup>A</sup>. DR<sup>A</sup>. JOÁRA CRONEMBERGER  
RIBEIRO SILVA**

**DISERTACIÓN DE MAESTRÍA EN ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

BRASÍLIA/DF, JUNIO DEL 2021

UNIVERSIDAD DE BRASÍLIA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
PROGRAMA DE POSGRADUACIÓN EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

**ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PASIVAS PARA EL  
CONFORT TÉRMICO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL  
MESOANDINAS - CASO CIUDAD DE PUNO**

**ARQ.<sup>a</sup> DIANA KAREN PARI QUISPE**

DISERTACIÓN DE MAESTRÍA SUBMETIDA AL PROGRAMA DE POSGRADUACIÓN EN ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO DE LA UNIVERSIDAD DE BRASÍLIA, COMO PARTE DE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE EL GRADO DE MESTRE EN ARQUITECTURA Y URBANISMO.

APROBADA POR:

---

**Dr. Prof. Caio Frederico e Silva, Dr. (FAU/UnB)**  
(Orientador)

---

**Dra. Prof<sup>a</sup>. Joára Cronemberger Ribeiro Silva, Dra. (FAU/UnB)**  
(Co-Orientadora)

---

**Dra. Profa. Cláudia Naves David Amorim, Dra. (FAU/UnB)**  
(Examinadora Interna)

---

**Dr. Prof. Martin Wieser Rey, Dr. (FAU/PUCP, PERÚ)**  
(Examinador Externo)

---

**Dr. Prof. Gustavo de Luna Sales, Dr. (FAU/UnB)**  
(Suplente)

BRASÍLIA/DF, JUNIO DEL 2021

## FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

QQ8e Quispe, Diana Karen Pari  
Estrategias bioclimáticas pasivas para el confort  
térmico de viviendas de interés social Mesoandinas - caso  
ciudad de Puno / Diana Karen Pari Quispe; orientador Caio  
Frederico Silva; co-orientador Joára Cronemberger . --  
Brasília, 2021.  
242 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Arquitetura e  
Urbanismo) -- Universidade de Brasília, 2021.

1. Confort térmico. 2. Clima frío Mesoandino. 3.  
Viviendas sociales. 4. Calefacción solar pasiva. 5.  
Materiales autóctonos. I. Silva, Caio Frederico, orient. II.  
Cronemberger , Joára , co-orient. III. Título.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

QUISPE, D. K. P. (2021). Estrategias bioclimáticas pasivas para el confort térmico en viviendas de interés social Mesoandinas – caso ciudad de Puno.

Disertación de maestría en Arquitectura y Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 242 p.

## SESIÓN DE DERECHOS

AUTOR: Diana Karen Pari Quispe

TÍTULO: Estrategias bioclimáticas pasivas para el confort térmico en viviendas de interés social Mesoandinas – caso ciudad de Puno

Es concedida a la Universidade de Brasilia el permiso para reproducir copias de esta disertación de maestría y para prestar o vender tales copias solamente para propósitos académicos y científicos. La autora reserva otros derechos de publicación y ninguna parte de esta disertación de maestría puede ser reproducida sin autorización por escrito de la autora.

---

Diana Karen Pari Quispe  
SQN 403, Bloco P, Ap. 101  
CEP: 70835106 Brasilia-DF, Brasil  
Email: diana.architect@gmail.com



## DEDICATORIA

*A mi hija Fernanda.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi orientador profesor Caio Frederico e Silva, por encaminar esta investigación, desde un comienzo supo dirigirme y aconsejarme.

A mi Co-orientadora profesora Joára Cronemberger Ribeiro Silva por estar a mi lado en todo este recorrido y brindarme su atención, conocimientos, sabiduría y profesionalismo, gracias por su apoyo, paciencia y calidez humana, le debo el sentido de responsabilidad en mi iniciación científica.

A mi familia, especialmente a mis padres Roberto y Fidelia por el apoyo en este andar, a mis hermanos Heiner, Lisbeth, Sonia, Uriel y a mi cuñado Midwar, que fueron un gran soporte a la distancia.

A la OEA, al Grupo COIMBRA y al programa CAPES por el apoyo financiero para realizar mis estudios en Brasil.

A la Universidad de Brasilia, que me acogió con tanto cariño al cuerpo docente del cual me siento muy agradecida por todo el conocimiento adquirido.

A los miembros de la banca examinadora, por la disposición en revisar y contribuir en este trabajo.

A los colegas de LASUS y LACAM, por el intercambio de experiencias y buenos momentos en especial a Thiago Góes, Paola Maigua, Maria Eugenia Martínez y Daniela Werneck.

A los amigos becarios por el apoyo mutuo, Erika, Melissa, Mónica, Brenda, Ledymar y Diana Suarez.

Gracias

## RESUMEN

El confort térmico en viviendas de interés social (VIS) acorde tanto a la normativa peruana como internacional viene siendo poco estudiada en Perú. La pobreza energética que trae consigo baja calidad térmica interior es subvalorada. En ese sentido la presente investigación demuestra el impacto de la introducción de estrategias pasivas de calentamiento para incrementar el confort térmico a la vivienda de interés social en la zona Mesoandina peruana por medio de simulaciones termoenergéticas. Las estrategias bioclimáticas pasivas son un conjunto de medidas que se emplean equilibradamente en el uso y conservación de la energía con el fin de no emplear energías artificiales para su funcionamiento. El método de esta investigación se desarrolló en cuatro etapas: primeramente, se ha realizado un extenso levantamiento bibliográfico que fundamenta las intervenciones propuestas. A seguir se ha definido 5 tipologías representativas de VIS, a partir de datos recopilados de un barrio ubicado en la ciudad de Puno, al margen del lago Titicaca. Posteriormente se simuló el comportamiento térmico actual de dichas tipologías de vivienda, considerando la caracterización climática e incluyendo aspectos constructivos y urbanísticos. Finalmente se simularon diferentes propuestas de intervención en las tipologías, inicialmente para variables aisladas, y a seguir para tres grupos de variables combinadas, con énfasis en el empleo de materiales autóctonos. Las simulaciones han sido realizadas por medio de la herramienta *Design Builder versión 6.1.0* que utiliza el motor de cálculo del programa *EnergyPlus (versión 8.9)*. Se utilizó para la evaluación del nivel de confort el estándar ASHRAE 55-2017, para espacios acondicionados naturalmente controlados por el ocupante a un 80% de aceptabilidad. Como resultados se encontró que las intervenciones puntuales con apenas una variable de alteración de la envolvente térmica han sido ineficaces para incrementar las temperaturas operativas (TO) al nivel mínimo de confort térmico. Apenas utilizando varias intervenciones combinadas fue posible lograr TO dentro del rango de confort establecido, las combinaciones han sido denominadas MET 1, MET 2 y MET 3+CS, las cuales permitieron comparar las variables por medio de las simulaciones con el mejor y peor desempeño térmico. En especial, se ha observado excelente resultado para la combinación (MET 3+CS), que ha permitido un incremento en promedio para todos los ambientes de 8,1 °C de TO de todos los meses del año simulado respecto al estado actual y 9,5 °C de TO para el día típico de invierno con respecto al estado actual. Así se pone de manifiesto la importancia del empleo de la calefacción solar en relación directa con el desempeño térmico de las viviendas. Los resultados de esta investigación han permitido llegar a una serie de recomendaciones y directrices para la mejora de las viviendas en la zona Mesoandina que pueden ser introducidas tanto en rehabilitación de viviendas existentes como en el diseño de nuevas edificaciones.

**Palabras Clave:** Confort térmico; Clima frío Mesoandino; Viviendas sociales; Calefacción solar pasiva; Materiales autóctonos.

## ABSTRACT

Thermal comfort in social housing according to Peruvian and international regulations has been little studied in Peru. The energy poverty that brings with it low indoor thermal quality is undervalued. In this sense, the present research demonstrates the impact of the introduction of passive heating strategies to increase thermal comfort in low-income housing in the Peruvian Mesoandean zone by means of thermoenergetic simulations. Passive bioclimatic strategies are a set of measures that are used in a balanced way in the use and conservation of energy in order not to use artificial energy for its operation. The method of this research was developed in four stages: first, an extensive bibliographic survey has been carried out that supports the proposed interventions. Next, 5 representative social housing typologies have been defined, based on data collected from a neighborhood located in the city of Puno, on the edge of Lake Titicaca. Subsequently, the current thermal behavior of these types of housing was simulated, considering the climatic characterization and including construction and urban aspects. Finally, different intervention proposals were simulated in the typologies, initially for isolated variables, and then for three groups of combined variables, with an emphasis on the use of indigenous materials. The simulations have been carried out using the *Design Builder tool version 6.1.0* that uses the calculation engine of the *EnergyPlus program (version 8.9)*. The ASHRAE 55-2017 standard was used for the evaluation of the comfort level, for naturally conditioned spaces controlled by the occupant at 80% acceptability. As results, it was found that specific interventions with only one variable of alteration of the thermal envelope have been ineffective in increasing the operative temperatures (OT) to the minimum level of thermal comfort. Only using several combined interventions was it possible to achieve OT within the established comfort range, the combinations have been called MET 1, MET 2 and MET 3 + CS, which allowed the variables to be compared through simulations with the best and worst thermal performance. In particular, an excellent result has been observed for the combination (MET 3 + CS), which has allowed an average increase for all environments of 8.1 °C of OT in all months of the simulated year with respect to the current state and 9.5 °C of OT for the typical winter day with respect to the current state. This highlights the importance of using solar heating in direct relation to the thermal performance of homes. The results of this research have made it possible to reach a series of recommendations and guidelines for the improvement of housing in the Mesoandean zone that can be introduced both in the rehabilitation of existing housing and in the design of new buildings.

**Keywords:** Thermal comfort; Mesoandean cold weather; Social housing; Passive solar heating; indigenous materials.

## RESUMO

O conforto térmico em habitações de interesse social (HIS), de acordo com as regulamentações peruanas e internacionais, foi pouco estudado no Peru. A escassez de energia que traz consigo a baixa qualidade térmica interna é subestimada. Nesse sentido, esta pesquisa demonstra o impacto da introdução de estratégias de aquecimento passivo para aumentar o conforto térmico em habitações de baixa renda na zona Mesoandina peruana por meio de simulações termoenergéticas. As estratégias bioclimáticas passivas são um conjunto de medidas que são utilizadas de forma equilibrada no uso e conservação de energia de forma a não utilizar energia artificial para o seu funcionamento. O método desta pesquisa foi desenvolvido em quatro etapas: na primeira, foi realizado um extenso levantamento bibliográfico que embasa as intervenções propostas. A seguir, foram definidas 5 tipologias de HIS representativas, com base em dados coletados em um bairro localizado na cidade de Puno, às margens do Lago Titicaca. Posteriormente, foi simulado o comportamento térmico atual das tipologias, considerando a caracterização climática e incluindo aspectos construtivos e urbanos. Por fim, foram simuladas diferentes propostas de intervenção nas tipologias, inicialmente para variáveis isoladas, depois para três grupos de variáveis combinadas, com destaque para o uso de materiais autóctonos. As simulações foram realizadas com a ferramenta *Design Builder versão 6.1.0* que utiliza o motor de cálculo do programa *EnergyPlus (versão 8.9)*. A norma ASHRAE 55-2017 foi utilizada para a avaliação do nível de conforto, para espaços naturalmente condicionados controlados pelo ocupante com 80% de aceitabilidade. Como resultados, constatou-se que as intervenções específicas com apenas uma variável de alteração do envelope térmico, tem sido ineficazes em elevar a temperatura operativa (TO) ao nível mínimo de conforto térmico. Somente por meio de diversas intervenções combinadas foi possível atingir a TO dentro da faixa de conforto estabelecida, as combinações foram denominadas MET 1, MET 2 e MET 3 + CS, o que permitiu a comparação das variáveis por meio de simulações com melhor e pior desempenho térmico. Em particular, foi observado um excelente resultado para a combinação (MET 3 + CS), o que permitiu um aumento médio para todos os ambientes de 8,1 ° C de TO para todos os meses do ano simulado em relação ao estado atual e 9,5 ° C de TO para o dia típico de inverno em relação ao estado atual. Isso destaca a importância do uso do aquecimento solar em relação direta ao desempenho térmico das habitações. Os resultados desta investigação permitiram chegar a um conjunto de recomendações e orientações para a melhoria das habitações na zona Mesoandina, que podem ser introduzidas tanto na reabilitação de habitações existentes como na concepção de novos edifícios.

**Palavras chave:** Conforto térmico; Clima frio Mesoandino; Habitações sociais; Aquecimento solar passivo; Materiais autóctonos.

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1: Comportamiento de la radiación solar</i> .....	6
<i>Figura 2: Principios del calentamiento solar pasivo</i> .....	7
<i>Figura 3: Principios de captación solar pasiva</i> .....	7
<i>Figura 4: Estrategias de verano e invierno</i> .....	8
<i>Figura 5: Tipos de casas y su factor forma</i> .....	11
<i>Figura 6: Ganancia solar directa</i> .....	14
<i>Figura 7: Techo de agua</i> .....	19
<i>Figura 8: Técnicas activas de calentamiento</i> .....	23
<i>Figura 9: Carta Psicrométrica adaptada de Givoni</i> .....	24
<i>Figura 10: Cooperación del sistema de calefacción solar combinado (parte interior, es decir, excluidos los colectores solares) con una bomba de calor de suelo</i> .....	26
<i>Figura 11: Calefacción solar activa del pabellón de laboratorios de estudios generales de la Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú</i> .....	27
<i>Figura 12: VIS, sus inicios</i> .....	30
<i>Figura 13: Unidad vecinal N°3</i> .....	31
<i>Figura 14: Ciudad Satélite Santa Rosa realizada por ENACE</i> .....	32
<i>Figura 15: Evolución de los productos para la VIS</i> .....	33
<i>Figura 16: Créditos otorgados en el Perú desde 1999-2019</i> .....	34
<i>Figura 17: Sectores de la ciudad de Puno con habilitaciones urbanas de VIS</i> .....	34
<i>Figura 18: VIS, sector 6 Chanu Chanu</i> .....	35
<i>Figura 19: VIS, sector 7, Salcedo</i> .....	36
<i>Figura 20: VIS, sector 9, Urb. Ciudad de la humanidad</i> .....	36
<i>Figura 21: VIS, Praderas del INKA</i> .....	36
<i>Figura 22: VIS, Perlas del altiplano</i> .....	37
<i>Figura 23: Componentes globales: modelos de casos vernáculos</i> .....	38
<i>Figura 24: Elementos usados en pilares y paredes de la vivienda vernacular en Perú</i> 38	
<i>Figura 25: Ubicación y perspectiva de vivienda vernacular</i> .....	39
<i>Figura 26: Materiales usados en la vivienda vernacular</i> .....	40
<i>Figura 27: Detalle de cambio de base a techo y entrada, elevación y acabado interior del Putuco</i> .....	40
<i>Figura 28: Islas flotantes, vivienda Uro, ubicación y forma típica de vivienda</i> .....	41
<i>Figura 29: Material usado en la vivienda Uro</i> .....	42
<i>Figura 30: Armado de la “Kesana”, material usado para el techo y muros de la vivienda</i> .....	43
<i>Figura 31: VIS, la Paz Bolivia</i> .....	44
<i>Figura 32: VIS, Putre Chile</i> .....	44
<i>Figura 33: VIS, FONCODES Perú</i> .....	45
<i>Figura 34: VIS, Sumaq wasi Perú</i> .....	46
<i>Figura 35: VIS, CER UNI Perú</i> .....	47
<i>Figura 36: VIS, Koñichuyawasi Perú</i> .....	48
<i>Figura 37: Enfoques, confort térmico adaptativo</i> .....	51
<i>Figura 38: Temperaturas operativas aceptables para edificios pasivos de acuerdo con el estándar ASHRAE 55</i> .....	58
<i>Figura 39: Forma de las edificaciones</i> .....	62
<i>Figura 40: Diseño ideal de espacios</i> .....	62
<i>Figura 41: Aislamiento en muros, traslapes</i> .....	63

<i>Figura 42: Aislamiento en techos.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 43: Aislamiento en pisos, encuentros .....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 44: Acceso solar .....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 45: Acristalamiento .....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 46: Infiltraciones en aberturas.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 47: Permeabilidad de aire típica de ventanas según materialidad y tipo de apertura .....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 48: Selección de una ventana térmica, marcos con aislamiento.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 49: Contraventanas .....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 50: Etapas a seguir, definición de método de investigación.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 51: Los Andes desde el espacio de día .....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 52: Mapa de Clasificación climática Koppen.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 53: Carta polar equidistante de la ciudad de Puno .....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 54: Carta psicrométrica para Puno-Perú, ASHRAE Standard 55-2004 usando PMV.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 55: Tabla climática, datos históricos desde 1982 al 2012.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 56: Rosa de los vientos del año 2019 .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 57: Temporada de lluvia - precipitación en lluvia mensual promedio .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 58: Rosa de lluvia del año 2019.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 59: Lago Titicaca en Sudamérica .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 60: Lago Titicaca (buffer 1 km y 2 km).....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 61: Diferencia de temperatura de la superficie en VIS.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 62: VIS en los sectores 6, 7 y 9 de la ciudad de Puno.....</i>	<i>81</i>
<i>Figura 63: Temperatura de la superficie – Puno – Lago Titicaca .....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 64: Recorte seleccionado en barrio Salcedo.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 65: Flujo de vientos en el recorte.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 66: Radiación solar (2019_07_16_10h00) .....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 67: Tipologías del recorte .....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 68: Selección de tipologías para modelado .....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 69: Especificaciones de actividad_Domestic lounge T1 .....</i>	<i>98</i>
<i>Figura 70: Especificaciones de actividad, T2 .....</i>	<i>99</i>
<i>Figura 71: Especificaciones de infiltración .....</i>	<i>100</i>
<i>Figura 72: Especificaciones de acristalamiento .....</i>	<i>101</i>
<i>Figura 73: Confort T1, ambiente múltiple .....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 74: Fabric and ventilation T1, ambiente múltiple.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 75: Ganancias internas T1, ambiente múltiple .....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 76: Envoltoria con ejemplos de materiales convencionales y no convencionales .....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 77: Grupos de combinaciones.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 78: Configuración de ventana y puerta para propuesta de intervención .....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 79: Panel en lana de oveja.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 80: Ichu.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 81: Panel de totora.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 82: Muro de inercia.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 83: Variables fijas, intervención en techo y pisos.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 84: Valores límites para los caudales de ventilación exigidos por local de la vivienda.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 85: Estándares de hermeticidad para envolventes de viviendas normalizados a 50 Pa.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 86: Especificaciones de infiltración .....</i>	<i>130</i>

<i>Figura 87: Ubicación de provincias por zona bioclimática</i> .....	171
<i>Figura 88: Características climáticas de cada zona bioclimática</i> .....	171
<i>Figura 89: Planta y elevación principal</i> .....	173
<i>Figura 90: Corte A-A' y corte B-B'</i> .....	174
<i>Figura 91: Ocupación T1_ambiente múltiple</i> .....	176
<i>Figura 92: Ocupación T2_ambiente múltiple</i> .....	177
<i>Figura 93: Ocupación T2_cocina</i> .....	178
<i>Figura 94: Ocupación T3_cocina</i> .....	179
<i>Figura 95: Referencias de componentes</i> .....	181
<i>Figura 96: Confort T2, Ambiente múltiple</i> .....	193
<i>Figura 97: Fabric and ventilation T2, ambiente múltiple</i> .....	194
<i>Figura 98: Ganancias internas T2, ambiente múltiple</i> .....	194
<i>Figura 99: Confort T3, sala-comedor</i> .....	195
<i>Figura 100: Fabric and ventilation, T3-sala comedor</i> .....	196
<i>Figura 101: Ganancias internas T3, sala-comedor</i> .....	196
<i>Figura 102: Confort T3, dormitorio Norte</i> .....	197
<i>Figura 103: Fabric and ventilation, T3-dormitorio Norte</i> .....	198
<i>Figura 104: Ganancias internas T3, dormitorio Norte</i> .....	198
<i>Figura 105: Confort T3, dormitorio Sur</i> .....	199
<i>Figura 106: Fabric and ventilation T3, dormitorio Sur</i> .....	200
<i>Figura 107: Ganancias internas T3, dormitorio Sur</i> .....	200
<i>Figura 108: Confort T4, sala-comedor</i> .....	201
<i>Figura 109: Fabric and ventilation T4, sala-comedor</i> .....	202
<i>Figura 110: Ganancias internas T4, sala comedor</i> .....	202
<i>Figura 111: Confort T4, dormitorio Norte</i> .....	203
<i>Figura 112: Fabric and ventilation T4, dormitorio Norte</i> .....	204
<i>Figura 113: Ganancias internas T4, dormitorio Norte</i> .....	204
<i>Figura 114: Confort T4, dormitorio Sur</i> .....	205
<i>Figura 115: Fabric and ventilation T4, dormitorio Sur</i> .....	206
<i>Figura 116: Fabric and ventilation T4, dormitorio Sur</i> .....	206
<i>Figura 117: Confort T5, sala comedor</i> .....	207
<i>Figura 118: Fabric and ventilation T5, sala-comedor</i> .....	208
<i>Figura 119: Ganancias internas T5, sala comedor</i> .....	208
<i>Figura 120: Confort T5, dormitorio Norte</i> .....	209
<i>Figura 121: Fabric and ventilation T5, dormitorio Norte</i> .....	210
<i>Figura 122: Ganancias internas T5, dormitorio Norte</i> .....	210
<i>Figura 123: Confort T5, dormitorio Sur</i> .....	211
<i>Figura 124: Fabric and ventilation T5, dormitorio Sur</i> .....	212
<i>Figura 125: Ganancias internas T5, dormitorio Sur</i> .....	212



## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Cuadro: Estructura y contenido de la disertación</i>	5
<i>Tabla 2: Estrategias generales, de calefacción y refrigeración</i>	8
<i>Tabla 3: Estrategias de captación de radiación solar</i>	10
<i>Tabla 4: Variables de conservación de la energía</i>	12
<i>Tabla 5: Criterios para acumulación térmica</i>	13
<i>Tabla 6: Sistemas de calefacción solar directa</i>	15
<i>Tabla 7: Ganancia solar directa por medio de patio central</i>	15
<i>Tabla 8: Sistemas semi-directos</i>	16
<i>Tabla 9: Sistema indirecto</i>	16
<i>Tabla 10: Sistemas de captación solar indirecta, por pared</i>	17
<i>Tabla 11: Muro trombe funcionamiento en invierno y verano</i>	18
<i>Tabla 12: Sistemas de captación solar indirecto, por cubierta</i>	19
<i>Tabla 13: Sistemas de captación indirecta por suelo</i>	20
<i>Tabla 14: Sistemas de protección solar</i>	20
<i>Tabla 15: Sistemas de ventilación natural</i>	22
<i>Tabla 16: Estimativa de VIS del programa ENACE y techo propio</i>	35
<i>Tabla 17: Comparación estrategias VIS</i>	49
<i>Tabla 18: Referencia peruana: Norma EM. 110</i>	53
<i>Tabla 19: Ubicación por zona climática</i>	54
<i>Tabla 20: Comparativo de las normativas: NBR 15220 y EM 110</i>	55
<i>Tabla 21: Aspectos formales</i>	61
<i>Tabla 22: Síntesis de los datos climáticos 2019</i>	74
<i>Tabla 23: altura de edificación del recorte seleccionado</i>	85
<i>Tabla 24: Material predominante en techo, muro, revoque, vidrio y puerta</i>	86
<i>Tabla 25: Altura por tipología en porcentaje</i>	86
<i>Tabla 26: Rango de temperaturas interiores aceptables anualmente</i>	90
<i>Tabla 27: Rango de temperaturas interiores aceptables para el día típico de invierno</i>	90
<i>Tabla 28: Zonas térmicas y ambientes</i>	91
<i>Tabla 29: Áreas de paredes y aberturas de las tipologías seleccionadas</i>	92
<i>Tabla 30: Caracterización de la tipología – T1</i>	93
<i>Tabla 31: Caracterización de la tipología – T2</i>	93
<i>Tabla 32: Caracterización de la tipología – T3</i>	94
<i>Tabla 33: Caracterización de la tipología – T4</i>	96
<i>Tabla 34: Caracterización de la tipología – T5</i>	97
<i>Tabla 35: Estimado de consumo de energía de los equipamientos-T1</i>	99
<i>Tabla 36: Composición del muro, techo y piso</i>	101
<i>Tabla 37: Propiedades térmicas de la tipología T1</i>	102
<i>Tabla 38: Propiedades térmicas de las tipologías T2, T3, T4 y T5</i>	102
<i>Tabla 39: POC de ambientes de permanencia prolongada en su estado actual</i>	107
<i>Tabla 40: Estrategias para las propuestas de intervención</i>	108
<i>Tabla 41: Variables para la T1</i>	111
<i>Tabla 42: Influencia de variables T1</i>	111
<i>Tabla 43: Variables para la T2</i>	112
<i>Tabla 44: Influencia de variables del ambiente múltiple, T2</i>	112
<i>Tabla 45: Variables para la T3</i>	113

<i>Tabla 46: Influencia de variables del ambiente múltiple, T3.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 47: Influencia de variables del dormitorio Norte, T3.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 48: Influencia de variables del dormitorio Sur, T3.....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 49: Variables para la T4.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 50: TO de variables para la T4 en sala comedor.....</i>	<i>115</i>
<i>Tabla 51: TO en variables para la T4 en dormitorio Norte.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 52: TO en variables para la T4 en dormitorio Sur.....</i>	<i>116</i>
<i>Tabla 53: Variables para la T5.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 54: Variables para la T5.....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 55: Variables para la T5.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 56: Variables para la T5.....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 57: Variables de mayor influencia por tipología.....</i>	<i>121</i>
<i>Tabla 58: Configuración de ventanas aisladas para propuesta de intervención.....</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 59: Comparación de la conductividad térmica de los materiales aislantes propuestos.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 60: Detalle de composición en muros.....</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 61: Adecuaciones en muro, techo y piso.....</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 62: Propiedades térmicas para adecuación.....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 63: Propiedades térmicas para adecuaciones.....</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 64: Comparativa de adecuaciones.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 65: POC, anual – T1.....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 66: POC, día típico de invierno – T1.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 67: TO y zona de confort, comportamiento anual – T1.....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 68: TO, detallado mensual y promedio anual - T1.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 69: T1, TO comportamiento del día típico de invierno – T1.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 70: TO detallado comportamiento del día típico de invierno – T1.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 71: POC de ambientes con adecuaciones para la combinación MET 3+CS....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 72: POC de ambientes con adecuaciones para la combinación MET 2.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 73: POC de ambientes con adecuaciones para la combinación MET 1.....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 74: Comparativa resultados POC anual, combinación MET 3+CS-Lana de oveja.....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 75: Comparativa resultados POC día típico, combinación MET 3+CS-Lana de oveja.....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 76: Comparación de TO promedio del estado actual y final, anual.....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 77: Comparación de TO promedio del estado actual y final, día típico.....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 78: Comparativa resultados POC anual, combinación MET 3-Ichu.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 79: Comparativa resultados POC día típico, combinación MET 3-Ichu.....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 80: Comparación de TO promedio del estado actual y final, anual.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 81: Comparación de TO promedio del estado actual y final, día típico.....</i>	<i>148</i>
<i>Tabla 82: Comparativa resultados POC anual, combinación MET 3-Totora.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 83: Comparativa resultados POC día típico, combinación MET 3-Totora.....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 84: Comparación de TO promedio del estado actual y final, anual.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 85: Comparación de TO promedio del estado actual y final, día típico.....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 86: Altura de edificación de la muestra por tipología.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 87: Materiales encontrados en el recorte.....</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 88: Cargas por equipamientos T1.....</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 89: Cargas por equipamientos T2.....</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 90: Cargas por equipamientos T3.....</i>	<i>178</i>
<i>Tabla 91: Cargas por equipamientos T4.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 92: Cargas por equipamientos T5.....</i>	<i>180</i>

<i>Tabla 93: Referencia de datos para componentes en muro .....</i>	<i>183</i>
<i>Tabla 94: Referencia de datos para componentes en techo.....</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 95: Referencia de datos para componentes en piso.....</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 96: Referencia de datos para componentes en muro .....</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 97: Referencia de datos para componentes en techo.....</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 98: Referencia de datos para componentes en piso.....</i>	<i>191</i>
<i>Tabla 99: POC- anual, ambiente múltiple – T2.....</i>	<i>213</i>
<i>Tabla 100: POC- del día típico, ambiente múltiple – T2.....</i>	<i>213</i>
<i>Tabla 101: TO y zona de confort comportamiento anual, ambiente múltiple – T2 .....</i>	<i>214</i>
<i>Tabla 102: TO detallado mensual y promedio anual, ambiente múltiple- T2 .....</i>	<i>214</i>
<i>Tabla 103: TO y zona de confort, comportamiento del día típico de invierno, ambiente múltiple – T2.....</i>	<i>215</i>
<i>Tabla 104: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, ambiente múltiple – T2.....</i>	<i>215</i>
<i>Tabla 105: POC, anual, sala – T3 .....</i>	<i>216</i>
<i>Tabla 106: POC, para el día típico, sala – T3.....</i>	<i>216</i>
<i>Tabla 107: TO y zona de confort comportamiento anual, sala – T3.....</i>	<i>217</i>
<i>Tabla 108: TO detalle mensual y promedio anual, sala – T3.....</i>	<i>217</i>
<i>Tabla 109: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, sala – T3 .....</i>	<i>218</i>
<i>Tabla 110: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, sala – T3.....</i>	<i>218</i>
<i>Tabla 111: POC, anual, dormitorio Norte – T3.....</i>	<i>219</i>
<i>Tabla 112: POC- día típico, dormitorio Norte – T3 .....</i>	<i>219</i>
<i>Tabla 113: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Norte – T3.....</i>	<i>220</i>
<i>Tabla 114: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Norte – T3 .....</i>	<i>220</i>
<i>Tabla 115: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio norte – T3 .....</i>	<i>221</i>
<i>Tabla 116: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Norte – T3.....</i>	<i>221</i>
<i>Tabla 117: POC, anual, dormitorio Sur – T3 .....</i>	<i>222</i>
<i>Tabla 118: POC, del día típico, dormitorio Sur – T3 .....</i>	<i>222</i>
<i>Tabla 119: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Sur – T3 .....</i>	<i>223</i>
<i>Tabla 120: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Sur – T3.....</i>	<i>223</i>
<i>Tabla 121: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur – T3 .....</i>	<i>224</i>
<i>Tabla 122: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur – T3 .....</i>	<i>224</i>
<i>Tabla 123: POC, anual, sala comedor – T4 .....</i>	<i>225</i>
<i>Tabla 124: POC, del día típico, sala comedor – T4 .....</i>	<i>225</i>
<i>Tabla 125: TO y zona de confort comportamiento anual, sala comedor – T4.....</i>	<i>226</i>
<i>Tabla 126: TO detalle mensual y promedio anual, sala comedor – T4.....</i>	<i>226</i>
<i>Tabla 127: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, sala comedor – T4.....</i>	<i>227</i>
<i>Tabla 128: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, sala comedor – T4 .....</i>	<i>227</i>
<i>Tabla 129: POC, anual, dormitorio Norte – T4.....</i>	<i>228</i>
<i>Tabla 130: POC, del día típico, dormitorio norte – T4 .....</i>	<i>228</i>
<i>Tabla 131: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Norte – T4.....</i>	<i>229</i>
<i>Tabla 132: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Norte– T4.....</i>	<i>229</i>

<i>Tabla 133: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Norte – T4.....</i>	<i>230</i>
<i>Tabla 134: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio norte – T4.....</i>	<i>230</i>
<i>Tabla 135: POC, anual, dormitorio Sur – T4.....</i>	<i>231</i>
<i>Tabla 136: POC, del día típico, dormitorio Sur – T4.....</i>	<i>231</i>
<i>Tabla 137: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Sur – T4.....</i>	<i>232</i>
<i>Tabla 138: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Sur– T4.....</i>	<i>232</i>
<i>Tabla 139: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur– T4.....</i>	<i>233</i>
<i>Tabla 140: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur – T4.....</i>	<i>233</i>
<i>Tabla 141: POC, anual, sala comedor – T5.....</i>	<i>234</i>
<i>Tabla 142: POC, del día típico, sala- comedor – T5.....</i>	<i>234</i>
<i>Tabla 142: TO y zona de confort comportamiento anual, sala comedor – T5.....</i>	<i>235</i>
<i>Tabla 143: TO detalle mensual y promedio anual, sala comedor– T5.....</i>	<i>235</i>
<i>Tabla 144: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, sala comedor– T5.....</i>	<i>236</i>
<i>Tabla 145: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, sala comedor – T5.....</i>	<i>236</i>
<i>Tabla 146: POC, anual, dormitorio Norte – T5.....</i>	<i>237</i>
<i>Tabla 147: POC, del día típico, dormitorio Norte – T5.....</i>	<i>237</i>
<i>Tabla 148: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Norte – T5.....</i>	<i>238</i>
<i>Tabla 149: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Norte– T5.....</i>	<i>238</i>
<i>Tabla 150: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Norte– T5.....</i>	<i>239</i>
<i>Tabla 151: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Norte – T5.....</i>	<i>239</i>
<i>Tabla 152: POC, anual, dormitorio Sur – T5.....</i>	<i>240</i>
<i>Tabla 153: POC, del día típico, dormitorio Sur – T5.....</i>	<i>240</i>
<i>Tabla 154: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Sur – T5.....</i>	<i>241</i>
<i>Tabla 155: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Sur– T5.....</i>	<i>241</i>
<i>Tabla 156: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur– T5.....</i>	<i>242</i>
<i>Tabla 157: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur – T5.....</i>	<i>242</i>

## **LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS**

**ABNT:** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**CS:** Calefacción solar

**ENACE:** Empresa nacional de construcción

**MCVS:** Ministerio de vivienda construcción y Saneamiento

**POC:** Porcentual de horas ocupadas en confort

**RNE:** Reglamento nacional de edificaciones

**SEMAMHI:** Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú

**TE:** Temperatura externa

**TO:** Temperatura operativa

**VIS:** Vivienda de interés social

# SUMARIO

<b>PARTE I</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemática y motivaciones.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general .....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 Estructura de la disertación.....	5
<b>PARTE II</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Revisión teórica</b> .....	<b>6</b>
2.1 Estrategias bioclimáticas pasivas.....	6
2.1.1 Estrategias generales.....	9
2.1.2 Estrategias de calefacción en invierno.....	13
2.1.3 Estrategias de refrigeración en verano.....	20
2.2 Estrategias activas.....	23
2.2.1 Tipos principales de sistemas solares activos.....	24
2.3 Conclusiones del apartado.....	28
2.4 La vivienda de interés social en la zona Mesoandina.....	29
2.4.1 Breve histórico.....	29
2.4.2 La vivienda vernácula.....	37
2.4.3 Referentes de vivienda de interés social.....	43
2.4.4 Conclusiones del apartado .....	48
2.5 Confort térmico y normativas.....	50
2.5.1 Confort térmico adaptativo.....	51
2.5.2 Normativa para la evaluación del confort térmico adaptativo.....	52
2.5.3 Conclusiones del apartado .....	58
2.6 Pautas arquitectónicas en la zona Mesoandina.....	60
2.6.1 Pautas generales.....	60
2.6.2 Pautas formales y constructivas para la VIS .....	61
<b>PARTE III</b> .....	<b>69</b>
<b>3 Método, materiales y procedimientos</b> .....	<b>69</b>

3.1	Método.....	69
3.1.1	Caracterización climática del estudio de caso .....	71
3.1.2	Factores influyentes en la delimitación del recorte de estudio .....	77
3.1.3	Sobre el recorte seleccionado .....	82
3.2	Materiales .....	89
3.2.1	Programa de simulación computacional.....	89
3.3	Procedimientos .....	89
3.3.1	Criterios para evaluación del confort térmico por medio del porcentual de horas ocupadas en confort (POC).....	89
3.3.2	Parámetros para la simulación en su estado actual.....	91
3.3.3	Configuraciones básicas para las simulaciones .....	98
<b>PARTE IV .....</b>		<b>103</b>
<b>4</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>103</b>
4.1	Resultados del estado actual.....	103
4.1.1	Tipología T1 (T1).....	103
4.2	Discusión respecto al estado actual-todas las tipologías .....	106
4.3	Propuestas de intervención para mejora .....	107
4.4	Resultados de las simulaciones para las propuestas de mejora - intervenciones combinadas .....	137
4.4.1	Tipología T1 (T1).....	137
4.4.2	Síntesis de los resultados – todas las tipologías y combinaciones de las intervenciones.....	141
4.5	Discusión y conclusiones respecto a resultados del análisis de las adecuaciones propuestas .....	144
4.5.1	Mejores resultados obtenidos de las adecuaciones propuestas – intervenciones combinadas .....	144
4.5.2	Discusiones acerca de los resultados de las mejores propuestas .....	151
4.6	Recomendaciones para intervenciones en las Tipologías T1 a T5.....	153
<b>PARTE V.....</b>		<b>158</b>
<b>5</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>158</b>
5.1	Consideraciones finales .....	161
5.2	Sugerencias para investigaciones futuras .....	162
5.3	Limitaciones del estudio.....	162

<b>6</b>	<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>164</b>
<b>7</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>171</b>



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Conductividad térmica (k):** Capacidad de los materiales para dejar pasar el calor a su través. La inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica (capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor). Se expresa en Vatio por metro grado Kelvin (W/m.K).

**Friaje:** Es una masa de aire frío proveniente de la Antártida que ingresa por el sur del continente. Origina lluvias intensas y descenso brusco de temperaturas en la selva. En promedio, las temperaturas máximas caen de 35 °C a 22 °C; y las temperaturas mínimas, de 22 °C a 11 °C. Cada año se registran entre 6 a 10 friaje. La duración promedio es de 3 a 7 días; y en ocasiones de hasta 10 días.

**Helada:** Son fenómenos que se presentan en la sierra cuando la temperatura desciende por debajo de los 0 °C. Las heladas meteorológicas generalmente inician en abril y terminan en setiembre, alcanzando su periodo más frío y frecuente en los meses de junio y julio. El descenso más intenso se registra en las noches y en la madrugada antes de salir el sol con condiciones de cielo despejado o escasa nubosidad.

**Inercia Térmica:** En el caso de materiales de construcción y componentes de construcción, la inercia térmica es la tendencia del material a resistir los cambios de temperatura. Un material con alta inercia térmica tiene una mayor resistencia a los cambios de temperatura (resistencia de un sistema térmico a cualquier cambio en su estado termodinámico).

**Radiación directa:** La radiación solar recibida del sol sin haber sido dispersada por la atmósfera. (La radiación directa a menudo se conoce como radiación solar directa; para evitar la confusión entre subíndices para directo y difuso, utilizamos el término radiación directa).

**Resistencia térmica:** Producto de espesor (en la dirección del flujo) por la conductividad inversa.  $R = l / k$ . Para un elemento con múltiples capas perpendiculares a la dirección del flujo, las resistencias son aditivas. Símbolo: R. Unidad: (m<sup>2</sup>. K) / W

**Transmitancia térmica:** Flujo de calor en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas, de los medios situados a cada lado del elemento que se considera es la inversa de la resistencia térmica ( $R_t$ ), se expresa en Vatios por metro cuadrado y grado kelvin ( $W/m^2K$ ).

**Zona bioclimática:** Clasificación climática que define los parámetros ambientales de grandes áreas geográficas, necesaria para aplicar estrategias de diseño bioclimático de una edificación y obtener confort térmico y lumínico con eficiencia energética.

## **GLOSARIO DE CODIGOS**

### **RELATIVO A LAS TIPOLOGIAS**

T1: Tipología 1

T2: Tipología 2

T3: Tipología 3

T4: Tipología 4

T5: Tipología 5

### **RELATIVO A LOS GRUPOS DE SIMULACIONES**

**MET 1:** Grupo de simulación para la mejora de la envolvente térmica, que incluye materialidad en (Lana de oveja, Ichu y Totorá) + Vidrio simple de 4 mm

**MET 2:** Grupo de simulación para la mejora de la envolvente térmica, que incluye materialidad en (Lana de oveja, Ichu y Totorá) + Vidrio simple de 28 mm

**MET 3+CS:** Grupo de simulación para la mejora de la envolvente térmica, que incluye materialidad en (Lana de oveja, Ichu y Totorá) + Vidrio simple de 28 mm y el empleo de CS (Calefacción solar).

## **PARTE I**

### **1 Introducción**

Las estrategias bioclimáticas pasivas hacen uso de fuentes naturales de energía, principalmente la solar; se emplean de forma equilibrada con el fin de no emplear energías artificiales para su funcionamiento. Para Olgyay (1998), el uso de estrategias pasivas sigue un proceso lógico en donde se debe trabajar con los recursos naturales aprovechándolos para crear condiciones confortables y adecuadas. Las constantes investigaciones y legislaciones confirman la necesidad de aprovechar fuentes renovables en las edificaciones.

La VIS o también llamada “vivienda popular”: es aquella destinada al mejoramiento de la situación habitacional de personas que no tienen la posibilidad de encarar económicamente la construcción de su vivienda en forma individual. La VIS debe ser evolutiva y flexible; exige que se planifique su crecimiento con ayuda de normativa, permitiendo a las familias opciones de crecimiento ordenada y así evitar los problemas que causó la falta de conocimiento y autoconstrucción. Si se tiene en cuenta que el sector residencial conforma gran porcentaje del tejido urbano y que los ocupantes de la vivienda permanecen allí buena parte del día, es necesario que la arquitectura sirva de nexo entre el interior y el exterior, con el objetivo de crear ambientes confortables y adecuados a las necesidades de los ocupantes.

En los países en desarrollo, particularmente en América Latina, producto del rápido crecimiento de las áreas urbanas, aparece como medida preventiva a los asentamientos informales la vivienda de interés social (VIS), que tuvo sus inicios en la década de 1920 y continúa expandiéndose hasta la actualidad, por lo que tiene ya más de un siglo de existencia. La creación rápida, monótona y repetitiva de estos asentamientos muchas veces no toma en cuenta el contexto de la edificación ni las tipologías de diseño el clima del lugar, lo que acarrea problemas hasta el presente.

El problema del confort térmico en la zona Mesoandina radica en que las VIS no tienen relación con el clima ya que los modelos fueron replicados de ciudades con climas más cálidos, no desarrollándose tipologías específicas para la zona; es de comprender que debieran tener una envolvente que responda al clima y supere las oscilaciones térmicas que generan pobreza energética recurrente al interior. La zona Mesoandina comprende la parte alta de los Andes y abarca una franja altitudinal entre 3.500 y 4.000 msnm. En este contexto la ciudad de Puno es la más

extensa y poblada en la franja circunlacustre del lago Titicaca. La VIS es una vivienda de bajo costo, por lo que es importante pensar en soluciones fáciles y accesibles económicamente considerando que el Lago Titicaca ofrece recursos constructivos autóctonos para el aislamiento térmico lo que abre la posibilidad de mitigar estos problemas procurando su uso.

El territorio peruano por estar mucho más próximo al Ecuador cuenta con sol durante la mayor parte del año; según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM; SENAMHI, 2003), “la radiación solar anual en la sierra es de aproximadamente 5,5 a 6,5 kWh/m<sup>2</sup>”, por lo que representa un recurso renovable abundante.

De esta manera, la presente investigación propone la obtención del confort térmico por medio de estrategias pasivas en VIS del contexto peruano, tomando como muestra la ciudad de Puno; se apoyó para su desarrollo del programa *Design Builder 6.1*, herramienta que sirvió para simular el desempeño térmico de la vivienda.

## **1.1 Problemática y motivaciones**

Según la agencia humanitaria internacional Care Perú (2010, p. 3), fundada en 1945 para brindar ayuda de emergencia y desarrollar proyectos internacionales a largo plazo, se estima que más de 6 millones de peruanos están sometidos a condiciones frías extremas en las zonas sur, centro y nororiente del país, siendo los departamentos Ancash, Apurímac, Arequipa, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huancavelica, Huánuco, Junín, La Libertad, Moquegua, Pasco, Puno y Tacna los más afectados.

Esa característica climática trae consigo problemas de salud, como infecciones respiratorias agudas (IRAS) y neumonías, que afectan principalmente a niños menores de cinco años y a adultos mayores. Según el Plan multisectorial ante heladas y friaje (PCM, 2019, p. 24), la población clasificada según su susceptibilidad y vulnerabilidad en el departamento de Puno es de 207.672 casos durante la época de helada, fenómeno que se presenta en la sierra cuando la temperatura desciende por debajo de los 0 °C. Es así que el departamento de Puno se posiciona como el tercero de alto y muy alto riesgo de que su salud y/o medios de vida se vean afectados a nivel del Perú.

Las condiciones de vivienda y salud están íntimamente relacionadas, por ello es necesario ver la calidad de vivienda como un factor que contribuye al estado de salud de la

población; para Santa (2018), eso significa: “Una vivienda que propicie por sus condiciones de bienestar interno, condiciones higrotérmicas mínimas para garantizar la salud de sus moradores”. Según Pérez (2013, p. 9): “[...] los modelos para la gestión de la VIS que han predominado en América Latina durante las últimas décadas generan soluciones orientadas hacia los aspectos cuantitativos, mientras que la calidad, particularmente la del diseño, es subvalorada”.

La deficiencia diaria de energía al interior de la vivienda trae consigo la pobreza energética, lo que provoca que los edificios tengan limitaciones térmicas y “[...] debido también a los costos que conlleva calefaccionar una vivienda, el poblador opta por los materiales más baratos” (GARCIA, 2014). Sin embargo, el manejo de materiales de construcción que contribuyan a una buena fluctuación de la temperatura podría mejorar las condiciones energéticas actuales al interior de la VIS; objetivo que se persigue con este trabajo: el confort térmico.

Teniendo en cuenta el elevado coste que implica mantener una temperatura agradable en una vivienda todo el año, principalmente durante los meses de invierno, la posibilidad de satisfacer, al menos parcialmente, la necesidad de confort en las VIS por medio de la energía solar y materiales autóctonos constituye un potencial atractivo, pues como se mencionó, el recurso solar es abundante en la zona Mesoandina peruana y existen además recursos disponibles que no son bien aprovechados, como la totora (*Schoenoplectus californicus*), que se encuentra a orillas del Lago Titicaca, el Ichu (*Stipa ichu*), pasto propio del altiplano andino y la lana de oveja, siendo Puno el departamento con mayor ganadería ovina del país.

Actualmente, debido a los avances tecnológicos, “Se han ido abandonando las prácticas constructivas basadas en el diseño pasivo” (MONTERDE, 2014, p. 7). Cabe señalar también que no existen suficientes estudios que busquen la mejora térmica de la VIS, por ello existe un importante vacío de investigación. Hace falta aportar conocimientos que contribuyan a mitigar los problemas expuestos, sobre todo los de salud de la población que se encuentra en esta situación.

Una de las principales motivaciones para el desarrollo de esta investigación es el haber vivido en una VIS de la ciudad de Puno y percibir las deficiencias y la incomodidad de su interior, por lo que me propuse sugerir adecuaciones y estrategias que mejoren las condiciones

térmicas dentro de la vivienda. Así ante lo anteriormente expuesto, la pregunta principal de la investigación es:

¿Cuáles estrategias bioclimáticas de calentamiento pasivo podrían ser introducidas en las viviendas de interés social ya existentes para permitir el confort térmico en la zona Mesoandina peruana?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

-Analizar la introducción de estrategias pasivas de calentamiento para dotar de confort térmico a las viviendas de interés social existentes en la zona Mesoandina peruana

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Entender criterios de confort térmico y normativas existentes que puedan ser aplicadas al estudio.
- Aumentar la comprensión sobre el clima de la zona Mesoandina peruana.
- Caracterizar las VIS existentes a través de un levantamiento de un estudio de caso representativo.
- Proponer alternativas de estrategias bioclimáticas para las tipologías de VIS con énfasis en la utilización de materiales autóctonos.
- Evaluar el desempeño térmico de los estudios de caso a través de una herramienta de simulación.
- Elaborar un conjunto de recomendaciones para la mejora térmica de las edificaciones existentes y nueva construcción de VIS con soluciones pasivas.

### 1.3 Estructura de la disertación

La presente disertación es de naturaleza cuantitativa y cualitativa y se basa en un proceso experimental que utiliza el recurso de simulación computacional para demostrar la situación actual y una propuesta de mejora.

Como primera instancia se pretende hacer una búsqueda y revisión bibliográfica para determinar la situación de la VIS en el contexto Latinoamericano con énfasis en la zona Mesoandina y luego en el contexto a estudiar cómo es la ciudad de Puno en Perú, posteriormente realizar una caracterización de la misma revisar las lagunas de conocimiento y hacer propuestas de mejora. La Tabla 1, muestra cómo se estructuro la investigación.

Tabla 1: Cuadro: Estructura y contenido de la disertación

Parte	Titulo	Contenido	Sub tópicos
PARTE I	Introducción Problemática motivaciones y Objetivos Estructura de la disertación	Objetivos generales Objetivos específicos	
PARTE II	Revisión teórica	La vivienda en la región Mesoandina Vivienda vernácula  Estrategias bioclimáticas pasivas  Confort térmico adaptativo y normativa	Breve histórico La vivienda vernácula Referentes de vivienda de interés social Conclusiones del apartado Estrategias generales Estrategias de calefacción en invierno Estrategías de refrigeración en verano Conclusiones del apartado Confort térmico adaptativo Normativa para la evaluación del confort térmico adaptativo Conclusiones del apartado
PARTE III	Método, materiales y procedimientos	Método  Materiales Procedimientos	Caracterización climática del estudio de caso Factores influyentes en la definición del recorte El recorte seleccionado y sus tipologías representativas  Programa de simulación computacional Confort térmico por medio del porcentual de horas ocupadas en confort (POC) Parámetros para la simulación en su estado actual Parámetros para la propuesta de mejora
PARTE IV	Resultados y discusión	Resultados del estado actual -Discusión y conclusiones respecto al estado actual Resultados para las simulaciones de propuesta de mejora -Discusión y conclusiones respecto a resultados de análisis de las adecuaciones propuestas -Recomendaciones para edificaciones existentes	Tipología 1 (T1)  Tipología 1 (T1)
PARTE V	Conclusiones y referencias bibliográficas	Conclusiones Referencias bibliográficas Anexos	Consideraciones finales Sugerencias para trabajos futuros

Fuente: Elaboración propia



## PARTE II

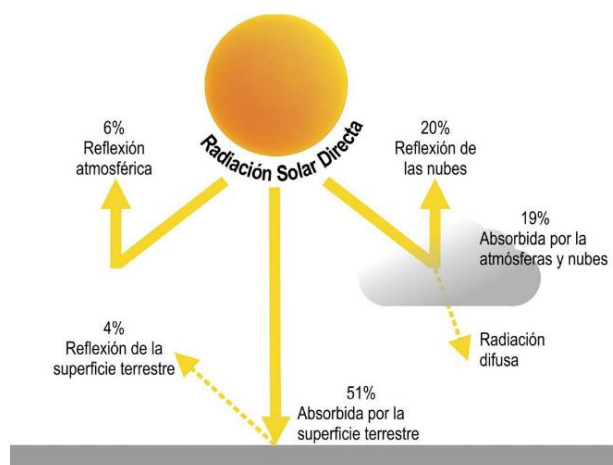
### 2 Revisión teórica

#### 2.1 Estrategias bioclimáticas pasivas

Este apartado está enfocado en la búsqueda de información sobre las estrategias pasivas más adecuadas tanto para invierno como para verano, abordado especialmente para clima frío que es el foco de esta investigación, por medio del diseño solar pasivo, cuya fuente de energía es la energía solar. Como sugiere Olgyay (1998, p. 10): “[...] el proceso lógico es trabajar con las fuerzas de la naturaleza y no en contra de ellas”, aprovechando sus potencialidades para crear unas condiciones de vida adecuadas.

Las estrategias se apoyan de sistemas que de modo práctico son implementadas teniendo en cuenta múltiples criterios y se basan en el manejo del diseño solar pasivo cuya fuente principal es la radiación solar. A pesar de que, desde que se emite hasta su recepción en la superficie de la tierra se producen una serie de pérdidas Figura 1.

Figura 1: Comportamiento de la radiación solar



Fuente: (MONTERDE, 2014)

Los principios del calentamiento solar pasivo se fundamentan en cuatro pilares como son la captación de la energía solar, su acumulación, distribución y conservación, Figura 2; según Neila (2004, p. 261): “[...] si falla una de ellas se derrumba la estructura bioclimática”. Esto debido a que si se quiere tener éxito en su manejo se debe entender que las cuatro se

complementan, considerando que la energía es errática en el tiempo y el espacio, pues la captación no es igual de un día al otro.

Figura 2: Principios del calentamiento solar pasivo



Fuente: Elaboración propia

Grala da Cunha (2005, p.50) indica que; “[...] estos principios funcionan por la conversión térmica de la radiación externa directa y difusa, que incide en una superficie translúcida, se refleja y absorbe una parte de esa radiación y es directamente proporcional a la reflectancia y transmitancia del material, así como el ángulo de incidencia”.

Figura 3: Principios de captación solar pasiva



Fuente: (GRALA DA CUNHA, 2005), Adaptado por la autora

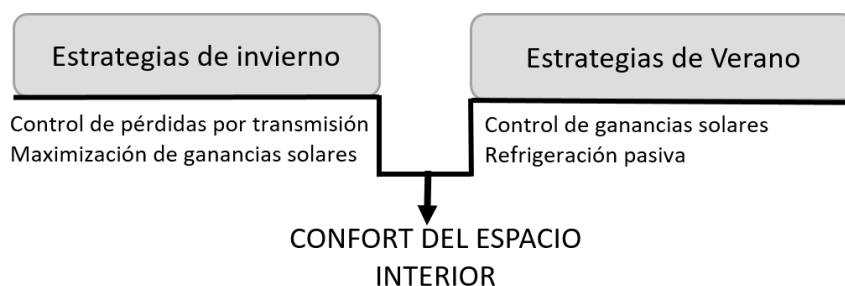
En la Figura 3, muestra los principios de calentamiento solar pasivo:

- (01) **Captación**, por conducción transmite calor a las capas internas del material.
- (02) **Almacenamiento**, absorción por superficies de la envoltoria
- (03) **Distribución**, reflexión para el aire por radiación y convección, la conducción es acompañada por el almacenamiento térmico de la envoltoria.
- (04) **Conservación de la energía** (que permite limitar los intercambios de calor entre el interior y el exterior), previniendo las fluctuaciones de temperatura, proceso final que permite cerrar este proceso asegurando el calentamiento solar pasivo, iniciándose cíclicamente a partir de la incidencia solar.

Remontándonos al inicio, el concepto de utilizar estrategias pasivas comenzó en Europa, la primera casa pasiva se construyó en Europa en Darmstadt (Alemania), en 1991. Según el

manual de Passivhaus, hasta ahora “[...] se han construido más de 30.000 edificios que funcionan según los principios de la casa pasiva” (PRASAD, 2014, traducción nuestra). Con el objetivo de encontrar un equilibrio tanto en las estrategias de invierno como de verano Figura 4, para lograr el confort del espacio interior. Según Dubravka (2010, p.47): “En climas fríos y continentales, se puede ahorrar entre 30–70% del consumo total aplicando las estrategias de calefacción solar pasiva”.

Figura 4: Estrategias de verano e invierno



Fuente: Elaboración propia

A continuación en la Tabla 2, se muestran las estrategias generales que tienen que ver con el diseño general del edificio y la MET, así como estrategias de calefacción en invierno y en verano, se detallan sus respectivos sistemas.

Tabla 2: Estrategias generales, de calefacción y refrigeración

Estrategias		Sistemas	Variables
Estrategias generales	Diseño general del edificio (DIS)	Captación de la radiación solar	Ubicación
			Forma
			Orientación
			Ventilación
			Vegetación
	Mejora de la envolvente térmica (EnT)	Conservación de la energía	Aislamiento térmico
			Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica
			Fachadas ventiladas
			Cubiertas ventiladas
			Fachadas Vegetales o ajardinadas
Estrategias de calefacción solar (CS) (invierno)	Acumulación térmica	Cubiertas vegetales o ajardinadas	
		Fachadas y cubiertas con alta inercia térmica	
		Directa	
		Semidirecta	
		Indirecta	
Exterior		Ventanas (Vanos) y lucernarios	
		Invernaderos adosados y galerías acristaladas	
		Captadores y acumuladores (A través de paredes, cubierta y suelo)	
		Umbráculos o pérgolas	
		Parasoles	

Estrategias de refrigeración (verano)	Protección solar (PS)	Externa	Persianas y contraventanas
		Intermedia	Vegetación
		Interior	Vidrios especiales
	Ventilación natural (VN)	Cruzada	Persianas y estores
		Con tiro térmico	Huecos
		Inducida	Efecto chimenea
			Torre de viento

Fuente: (DUBRAVKA, 2010; MONTERDE, 2014; NEILA, 2004; WIESER, 2008), adaptado por la autora

### 2.1.1 Estrategias generales

Como estrategias generales se considera; la captación de la radiación solar, conservación de la energía y acumulación de la energía, principios base del diseño solar pasivo, sentado por los siguientes autores: (AKSOY; INALLI, 2006; CORRALES, 2012; DUBRAVKA, 2010; ESPARZA, 2013; SERRA, RAFAEL; COCH, 1995; VAN, 2014; WIESER, 2008), que concuerdan que las variables como: la ubicación, forma y orientación de la edificación ventilación, vegetación son determinantes para tener más posibilidad de éxito en este proceso cíclico, en el que influyen muchas variables en respuesta a un determinado clima, las que dependerán de una visión integral.


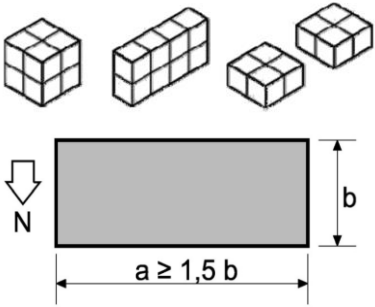
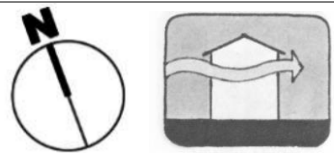

#### a) Estrategias de captación de radiación solar

Son consideradas a aquellas estrategias que permiten la captación de radiación solar aprovechando la ubicación, la forma del edificio, la orientación, ventilación y vegetación. Variables a tener en consideración en la fase preliminar de diseño procurando:

- Reducción de la superficie orientada al Sur.
- Provisión de voladizos, arcadas, contraventanas.
- Aislamiento de la envolvente del edificio, particularmente el techo.
- Control de ventilación e infiltración cuando la temperatura del aire exterior es alta.
- Utilizar espacios “tapón” en la fachada Sur.

Es verdad que muchas veces estos aspectos no están condicionados a libertad del diseñador, pero en muchos otros existe una cierta libertad en este sentido, se indican estas de forma sucinta sobre todo para clima frío Tabla 3.

Tabla 3: Estrategias de captación de radiación solar



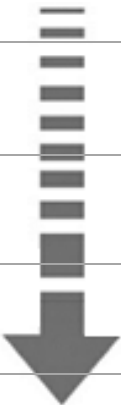



<p>Ubicación: Emplazamiento del edificio aprovechando la geografía inmediata con respecto a los vientos dominantes. (DUBRAVKA, 2010), es conveniente analizar la ubicación concreta del edificio y los elementos de gran volumen que se encuentran a su alrededor. (MONTERDE, 2014, p. 70)</p>	
<p>Forma del edificio: Los volúmenes alargados siguiendo una orientación este-oeste tendrán más posibilidad de captar más radiación de sol mediante la exposición de una de mayor longitud al Norte, además [...] la compacidad en la forma del edificio es una condicionante fundamental a la hora de buscar la inercia térmica del conjunto. (WIESER, 2008). “Para reducir el área de superficie la mejor forma es una compacta” (HEYWOOD, 2012), esto aplicado sobre todo a climas fríos.</p>	
<p>-La relación recomendada es como mínimo 1.5 con la fachada menor. (MONTERDE, 2014, p. 71), “[...] la proporción óptima para la orientación del edificio es la rectangular”. (AKSOY; INALLI, 2006)</p>	
<p>Orientación: La fachada receptora deberá estar libre de edificios altos, árboles de hoja perenne y cualquier obstáculo que impida la radiación directa al edificio. “Se debe evitar que el calor ganado por el Norte se pierda por el Sur...” (VAN, 2014, p. 272) Ventilación: La mínima requerida, según sea el caso.</p>	
<p>Vegetación: Pueden condicionar la generación de sombras y, con ellas, la posibilidad de una menor disponibilidad de radiación solar directa, más aún es importantísimo analizar bien la especie pues su correcto uso ayuda como barrera contra los vientos no deseados.</p>	

Fuente: (CORRALES, 2012; DUBRAVKA, 2010; MANZANO; MONTOYA; SABIO, 2015; MONTERDE, 2014; SERRA, RAFAEL; COCH, 1995; WIESER, 2008)

Refiriéndose a la forma del edificio, como indica Harvey (1999, p. 62), “Los edificios pequeños e independientes deben tener una forma muy compacta (el cuadrado está cerca del óptimo perfecto)”, a lo que Thorpe (2018, p. 14) añade “[...] las relaciones S / V altas requieren más aislamiento para lograr el mismo valor U/R”. Por lo que se recomienda una baja relación superficie / volumen (S/V)”.

El factor de forma de pérdida de calor (FF) es una medida de la compacidad de un edificio en forma de una relación entre el área externa del edificio (sin incluir el área de contacto con el suelo, pero incluido el techo) y el área del piso. Véase la Figura 5, donde el bungalow es menos eficiente por un FF mayor.

Figura 5: Tipos de casas y su factor forma

	Tipo	Factor forma (FF)	Eficiencia
	Apartamento en piso medio	0,8	Más eficiente
	Casa pareada	1,7	
	Casa adosada	2,1	
	Casa unifamiliar	2,5	
	Bungalow	3,0	

Fuente: (THORPE, 2018, p. 14)

Esta relación puede estar entre 0,5 y 5,0. Un número más bajo indica un edificio más compacto y eficiente. Los edificios Passivhaus tienen como objetivo lograr 3,0 o menos.

### b) Mejora de la envolvente térmica (EnT)

Como refiere Athienitis (2013, p. 4): “[...] la envolvente externa actúa como un "filtro" entre el entorno exterior y el espacio interior. El filtrado se ilustra mejor con el efecto de la masa térmica sobre las fluctuaciones de temperatura exterior”. Este aspecto tiene que ver con el control de flujo de energía que está condicionado al aislamiento de la envolvente térmica está conformada por todos los cerramientos y particiones, tales como (cubiertas, fachadas, suelos, particiones interiores).

#### b.1) Conservación de la energía

La conservación de energía busca su permanencia lo más posible dentro del recinto, para el caso de climas fríos se sugiere la mejora del aislamiento térmico, vidrios y marcos con baja transmitancia térmica Tabla 4. Los mismos que permiten se produzca al interior el efecto invernadero. Que según Lamberts *et al.* (2010, p. 55): “[...] es el principal fenómeno responsable de la transformación de la radiación solar en calor dentro de un edificio”. Ocurre cuando la radiación solar de onda corta ingresa por una abertura en el edificio, afectando los

objetos presentes en los ambientes (por ejemplo, muebles y revestimientos), que se calientan y emiten radiación de onda larga, el vidrio, que es prácticamente opaco para la radiación de onda larga evita la transmisión de calor al exterior, lo que provoca un aumento de la temperatura interna.

Tabla 4: Variables de conservación de la energía

<p><b>Aislamiento térmico</b>                      Protección de los vientos, sea de forma directa (a través de la ventilación o infiltración) o indirecta (a través de la conducción), por lo que se debe conservar la hermeticidad y aislamiento de la envolvente, el tamaño reducido de los vanos, la orientación en función de los vientos dominantes y barreras contra el viento (paneles, terraplenes, vegetación tupida y estratégicamente ubicada, etc.).</p>	
<p><b>Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica</b>                      Los huecos de la envolvente de los edificios constituyen el punto fundamental para el intercambio del calor con el exterior. La pérdida de energía ocurre principalmente por los siguientes factores:                      -Conducción, ocurre a través del marco.                      Radiación a través del vidrio, representa 2/3 de la pérdida de calor del hueco.                      -Convección, en la cámara de aire del doble acristalamiento, para minimizarlo se usan espesores de 12 a 16 mm y se pueden incluir gases (Argón, kriptón)                      -Infiltraciones, ocurren a través de las juntas de la hoja con el marco y del marco con el muro.</p>	
<p><b>Fachadas ventiladas</b>                      Protege de la incidencia directa de los rayos solares                      De esa forma se impide que el calor penetre al interior de la edificación.</p>	
<p><b>Cubiertas ventiladas</b>                      Tiene como objetivo impedir que la radiación solar sobre la parte opaca de la envolvente penetre al interior de la edificación, el aire circula por medio de una cámara, son adecuadas en zonas climáticas con severidad de verano.</p>	
<p><b>Fachadas Vegetales o ajardinadas</b>                      Tiene como objetivo impedir que la radiación solar sobre la parte opaca de la envolvente penetre al interior de la edificación, funcionan como aislamiento convectivo y radiactivo, reduciendo los flujos energéticos.</p>	
<p><b>Cubiertas vegetales o ajardinadas</b>                      Tiene como objetivo impedir que la radiación solar sobre la parte opaca de la envolvente penetre al interior de la edificación, son sistemas que buscan la mejora de la transmitancia</p>	

Fuente: (CORRALES, 2012; DUBRAVKA, 2010; MONTERDE, 2014)

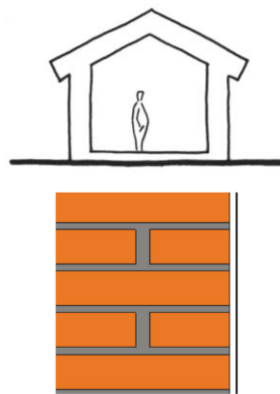
## b.2) Acumulación térmica

La acumulación de energía permite aislar, amortiguar y retardar el paso de la misma desde y hacia los ambientes interiores del edificio, es por ello es necesario considerar los siguientes aspectos sobre todo en fachadas y cubiertas, Tabla 5.

Tabla 5: Criterios para acumulación térmica

Fachadas y cubiertas con alta inercia térmica

- Muros anchos y pesados (adobe, piedra, ladrillo, concreto, etc.), tanto interiores como exteriores.
- Presencia de mobiliario pesado y de otros elementos que acumulen la energía de la radiación solar, de la temperatura diurna y de las propias ganancias internas.
- Las masas de agua como (piscinas, fuentes, piletas, etc.) al interior o en la cercanía inmediata al edificio resultan siendo también elementos que ayudan a la inercia térmica.



Fuente: (MONTERDE, 2014; WIESER, 2008)

### 2.1.2 Estrategias de calefacción en invierno

El libro *101 reglas básicas para una arquitectura de bajo consumo energético* de Heywood (2012), recomienda algunas reglas indispensables cuando se trata de clima frío:

- (Regla 90) El objetivo es la reducción de las necesidades de energía para calefacción por medio de zonas de amortiguamiento térmico, aislamiento y el mínimo de infiltraciones.
- (Regla 91) Permitir la calefacción pasiva, usando las ganancias térmicas solares.
- (Regla 93) El superaislamiento térmico, junto con el uso de masa termo acumuladora, exige una buena ventilación para que se prevenga el supercalentamiento.

Lo que quiere decir que, si se quiere calefaccionar en invierno, es necesario usar sistemas de ganancia. Según la información recolectada estos se clasifican en (3) tres:

- CS (directos)
- CS (semidirectos)
- CS(indirectos)

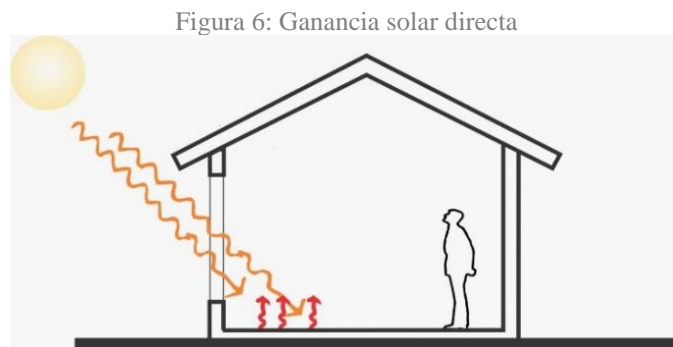


### a) CS – sistemas directos

De acuerdo con Szokolay (1983, p.25 *apud* GRALA DA CUNHA 2005, p. 49), este sistema se basa en: “[...] una superficie transparente de gran tamaño orientada al ecuador, a través de la cual, la radiación solar penetra en un ambiente habitable para posteriormente ser disipada cuando la temperatura interna se encuentre debajo que la externa”. Presenta algunos desafíos como:

- Supercalentamiento en los periodos calientes
- Insolación directa
- Des habilitación visual e incomodidad
- Deterioro de materiales y acabado por la exposición de radiación "ultravioleta" del espectro solar.

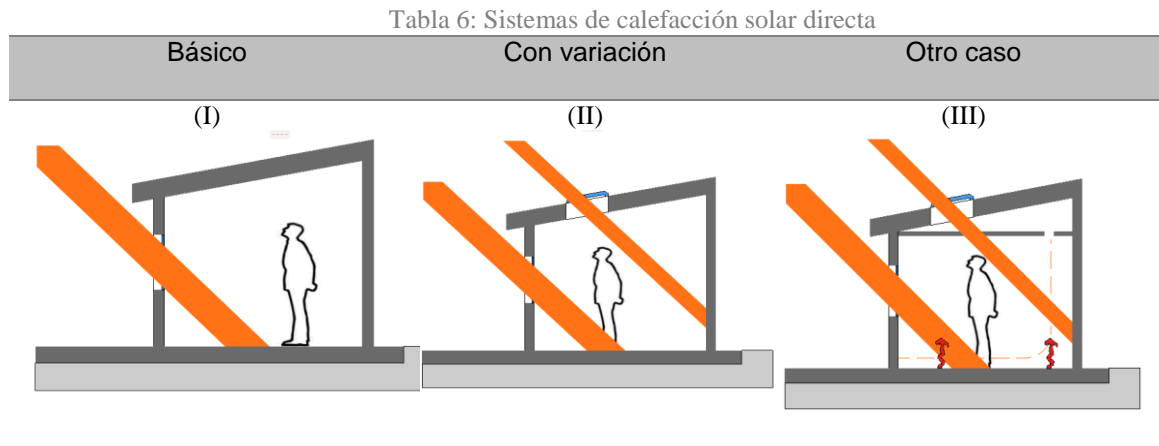
“Tiene como inconveniente la dependencia absoluta de las horas de sol lo que unido al incontrolado proceso de irradiación en suelos y paredes cercanos al punto de captación, provoca una irregular distribución del calor” (NEILA, 2004, p. 263). Usa el efecto invernadero y es el más habitual de los sistemas se ve en ejemplos que cuidan la orientación Figura 6.



Fuente: (NEILA, 2004)

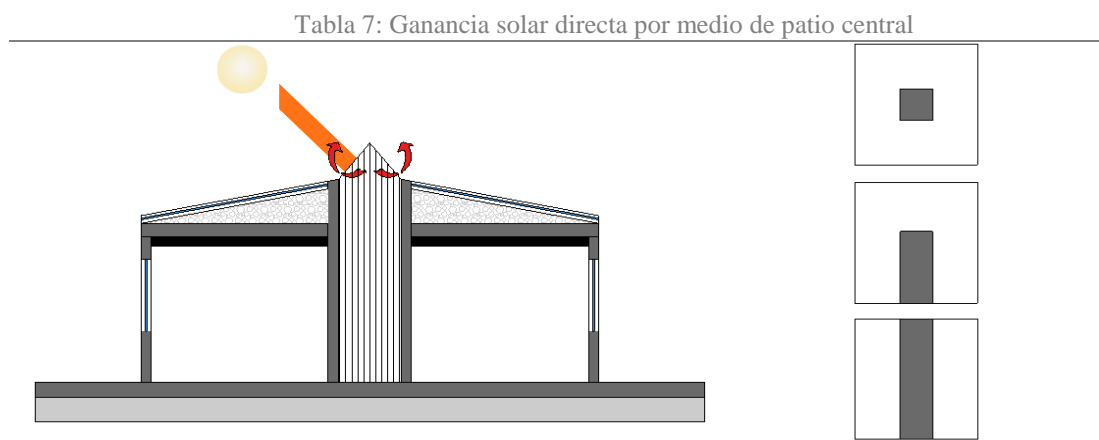
“Esta estrategia de maximización de ganancias solares se hace a través de las ventanas y huecos”. (DUBRAVKA, 2010, p.47), el sistema es el más simple de todos, y generalmente el más económico. La estrategia es sencilla, generar aberturas acristaladas en los espacios habitables del edificio, dispuestas de tal manera que tengan “[...] la máxima captación posible de radiación solar durante el invierno y la mínima durante el verano”.(ESPARZA, 2013, p. 10), esto dependiendo del emplazamiento. Es conveniente que el calor ganado no se pierda de noche cubrir estos espacios vidriados y procurar que se quede dentro de los ambientes. A continuación

en la Tabla 6, se muestra los sistemas de captación directa por paredes y techo clasificándose en básico (I), con variación (II) y otros casos que incluye un falso techo (III).



Fuente: Adaptado de Szokolay (1983, *apud* GRALA DA CUNHA, 2005)

Es frecuente ver el uso de la CS con un sistema directo por medio de un patio central, donde la abertura puede ser centralizada, parcial o total Tabla 7.

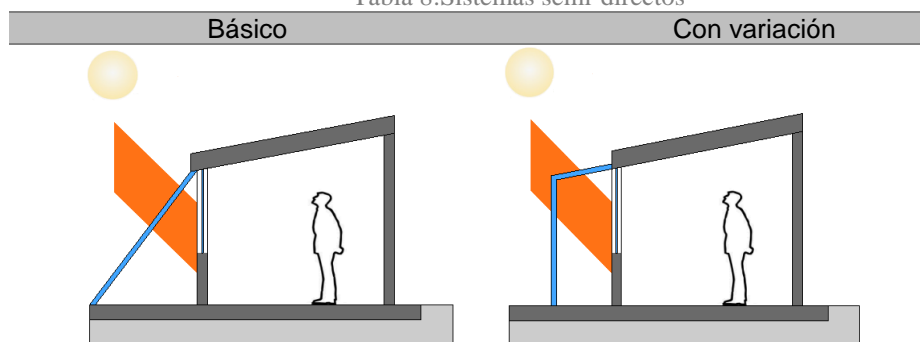


Fuente: Adaptado de Szokolay (1983, *apud* GRALA DA CUNHA, 2005)

### b) CS - sistemas semi-directos

Los sistemas semi-directos o también llamados “directo con lazo convectivo”, Tabla 8 se configuran con un invernadero adosado, que sirve de intermediario entre el interior y el exterior, además de contar con una ventana que recibe la radiación solar, puede haber variantes en cuanto a la forma del invernadero, esto dependiendo de la latitud en que se ubica.

Tabla 8: Sistemas semi-directos

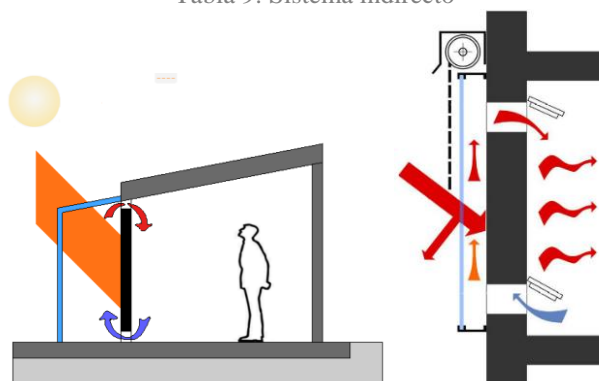


Fuente: Adaptado de Balcom et al.(1978 *apud* GRALA DA CUNHA, 2005)

### c) CS - sistemas indirectos

Según Dubravka (2010): “Los sistemas de calefacción solar indirectos se consideran aquellos espacios cerrados con un elemento translúcido invernadero o lámina de vidrio y un elemento intermedio: pared, cubierta y/o suelo” Tabla 9.

Tabla 9: Sistema indirecto



Fuente: Adaptado de (MONTERDE, 2014)

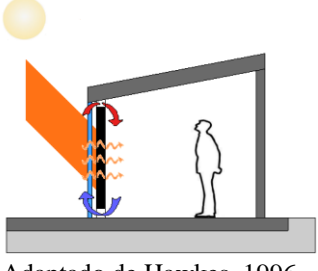
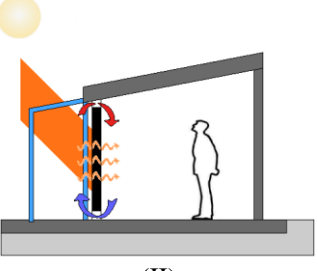
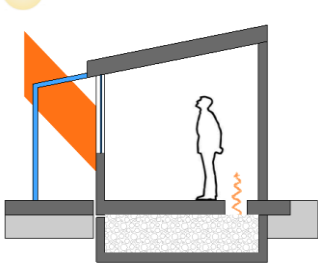
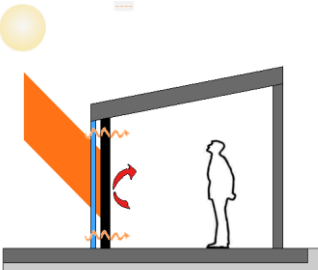
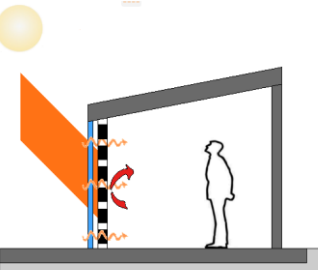
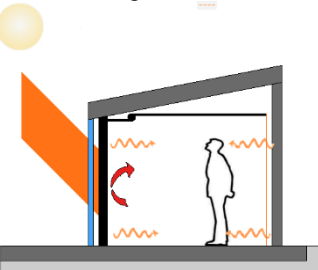
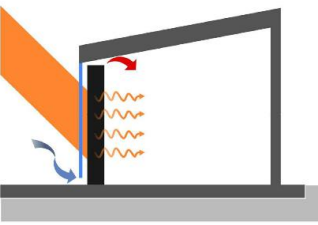
Según Ching (*Apud* CORRALES, 2012, p. 24): “En los sistemas indirectos, detrás del cristal se dispone un elemento de almacenamiento del calor que cede luego al ambiente para calentarlo”.

#### c.1) Por pared

Este sistema capta la energía solar, por un elemento vertical acumulador que almacena energía (pared), para cederlo posteriormente al interior compuesto por una hoja exterior de baja

inercia térmica, una cámara de aire ventilada y una hoja vertical (pared) interna con gran masa térmica que transmite el calor de forma retardada. Véase la Tabla 10.

Tabla 10: Sistemas de captación solar indirecta, por pared

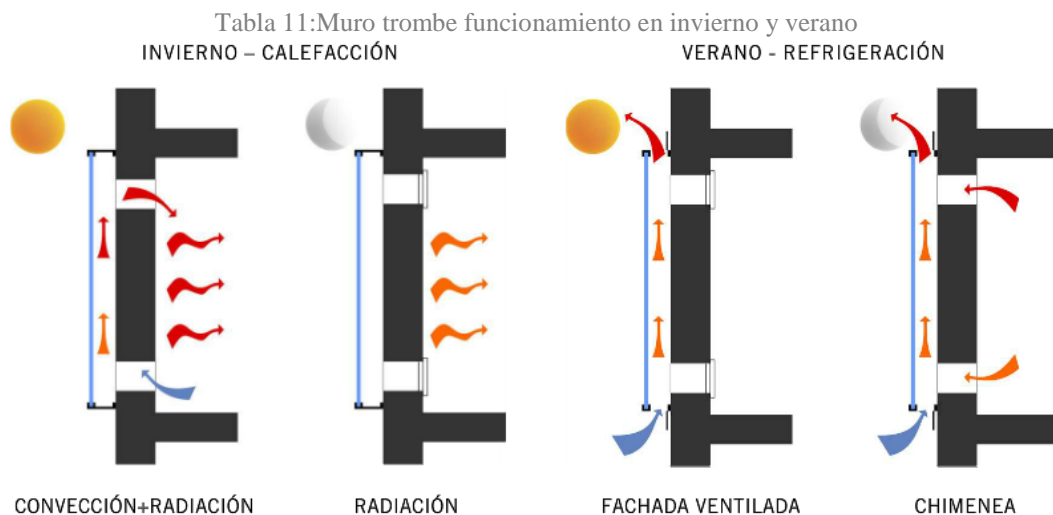
	Básico	Con variación	Otros casos
T e r m o a c u m u l a d o r  P A R E D e c a l o r	Pared Trombe-Michel, también llamado “muro solar ventilado”  Adaptado de Hawkes, 1996 (I)	Con Invernadero  (II)	Con Invernadero y depósito de piedras  (III)
	Muro de inercia  (IV)	Pared de tambores  (V)	Paredes de agua bombeadas  (VI)
	Muro parietodinámico  (VII)		

Fuente: (GRALA DA CUNHA, 2005), adaptado por la autora

-Muro trombe: Fue patentado por E.S. Morse en el siglo XIX, desarrollado y popularizado por los franceses Félix Trombe y al arquitecto Jacques Michel en Odeilio, Pirineo Francia, quienes en 1967 diseñaron una vivienda usando este sistema. “El clásico muro de Trombe puede atrapar la radiación solar explotando efecto invernadero creado en una cavidad acristalada, absorbe y almacena el calor utilizando una pared masiva”. (ZHONGTING *et al.*, 2017, p. 2, traducción propia).

En el caso del muro trombe Tabla 10 ejemplos I y II, es necesario evitar la pérdida de energía nocturna a través del acristalamiento y pared, empleando protecciones móviles que

actúen como aislante térmico, además de cerrar los conductos de convección y extracción de la cámara; su funcionamiento varía dependiendo de la época del año Tabla 11. Según Bramare *et al.* (2019, p. 4): “El consumo de energía de calefacción del edificio puede reducirse hasta un 30% con el uso de paredes trombe”.



-Muro de inercia: También denominados muros solares o invernadero, son cerramientos compuestos por una hoja interna con alta masa térmica y una hoja externa de vidrio, separadas entre sí por una cámara de aire de pequeño espesor, que actúa como colector solar debido al efecto invernadero, al igual que el muro trombe, presenta el inconveniente de dejar un muro ciego en fachada al Ecuador, Tabla 10 ejemplo IV.

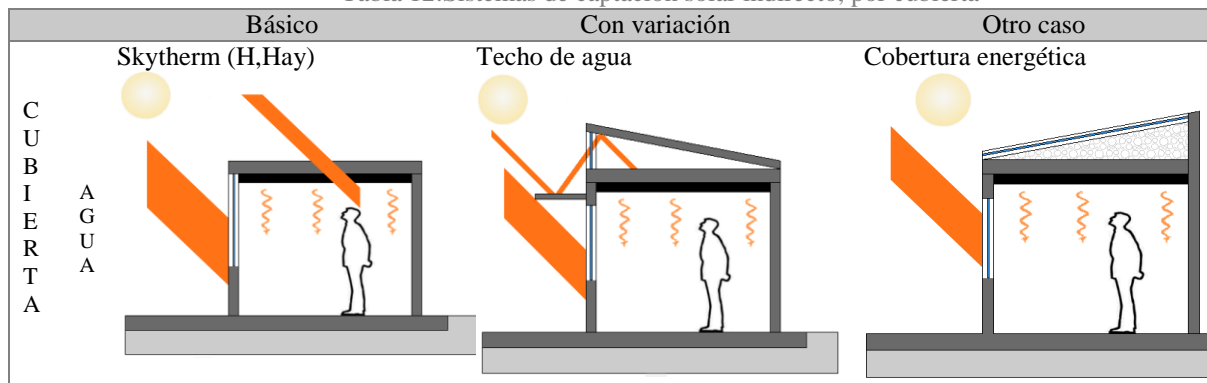
-Muro parietodinámico: Es un cerramiento que aprovecha la energía solar para el precalentamiento del aire exterior, la circulación puede ser natural (termosifón) o forzada. Se puede usar en fachadas orientadas favorablemente Tabla 10 ejemplo VII.

### c.2) Por cubierta

También llamados sistemas horizontales de captación retardada. “[...] suelen estar formados por bolsas de plástico negro relleno de agua que durante el día se calientan para ceder por conducción el calor a través de la cubierta del edificio, por la noche deben protegerse para evitar su enfriamiento” (NEILA, 2004, p. 265). Un inconveniente que presenta es la distribución del aire caliente, ya que este tiende a estratificarse y permanecer en el techo. En la Tabla 12 se

muestran tres ejemplos de un sistema básico, uno con variación (lana exterior reflectante al techo de agua) y otro caso consistente en una cobertura energética.

Tabla 12: Sistemas de captación solar indirecto, por cubierta



Fuente: (GRALA DA CUNHA, 2005), adaptado por la autora

-Techo de agua (Skytherm): El sistema fue construido en 1973 por Harold Hay y John Yellott, en su interior mantiene el promedio de temperatura interna de 22 °C en verano y de 19-23 °C en invierno, la casa tenía aproximadamente 1.100 pies cuadrados y el agua estaba contenida en bolsas plásticas tipo cama de agua. El sistema no tenía bombas, compresores, tuberías o conductos, y los ocupantes podían manejarlo fácilmente, Figura 7.

Figura 7: Techo de agua

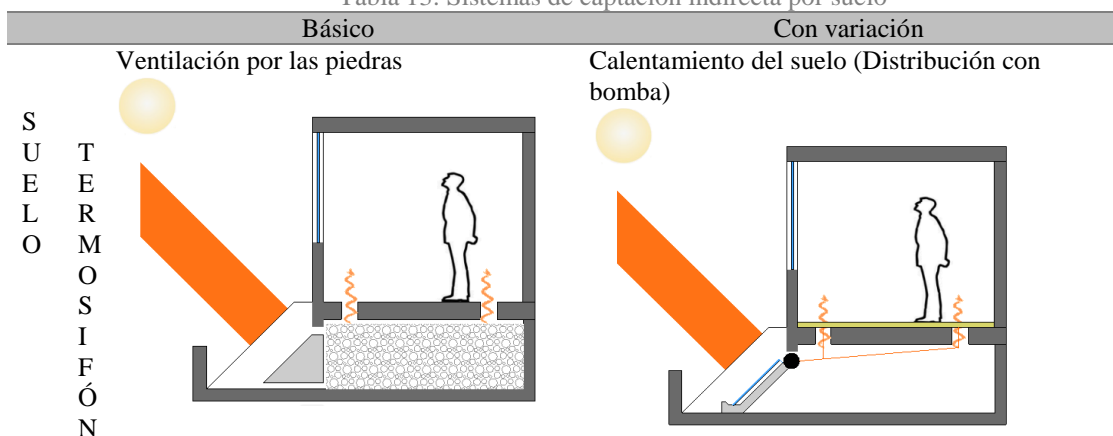


Fuente: (YANNAS, 2006, p. 27)

### c.3) Por suelo

Este sistema indirecto se basa en el hecho de que la tierra sea calentada por el sol. Este sistema de captación permite que se aproveche la incidencia solar en un espacio expuesto y funciona elevando el nivel del suelo para permitir la entrada del aire caliente y este pueda circular en la vivienda por convección, pudiendo ser por medio de las piedras, o el calentamiento del suelo haciendo uso de bombas Tabla 13:

Tabla 13: Sistemas de captación indirecta por suelo



Fuente: (GRALA DA CUNHA, 2005), adaptado por la autora

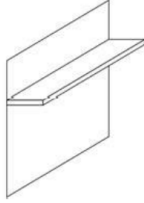
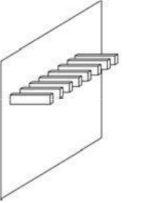
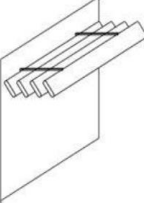
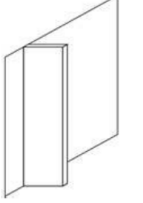
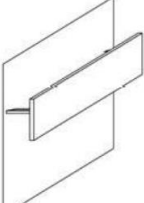
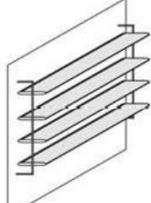
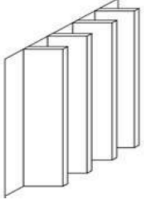
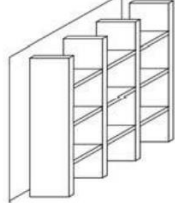
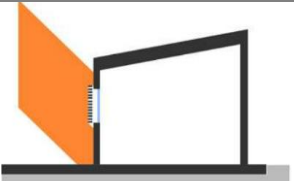

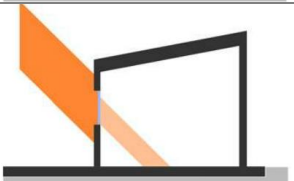
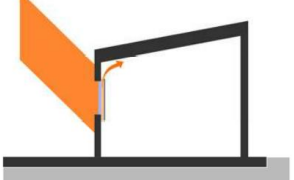
### 2.1.3 Estrategias de refrigeración en verano

#### a) Protección solar (PS)

Es considerado una protección solar a cualquier dispositivo fijo o móvil que impida total o parcialmente el acceso de la radiación solar al interior del edificio. Los umbráculos o pérgolas son sistemas que crean espacios intermedios sombreados a la edificación, su característica principal es el de contar con elementos ligeros en cuanto a materiales. Es de tener en cuenta que: “[...] en la mayoría de sistemas pasivos, el control es hecho moviendo un dispositivo de sombreadamiento que regula la cantidad de radiación solar que es admitida en la estructura” (KALOGIROU, 2014, p,546), ver Tabla 14:

Tabla 14: Sistemas de protección solar

Umbráculos o pérgolas: Es un espacio intermedio anexo a la edificación, el objetivo es evitar deslumbramientos del exterior al interior, constituido por elementos ligeros, con frecuencia combinados con la vegetación.	
Parasoles: Los parasoles tienen el objetivo de impedir que la radiación incida en la envolvente. Pudiendo ser fijos (aleros, salientes y voladizos) y móviles (toldos y estores).	

Exterior (Obstáculos de fachada)				
	Plano horizontal macizo perforado	Plano horizontal con lamas	Plano horizontal con lamas paralelas a la fachada	Plano vertical paralelo a la fachada
				
	Plano paralelo a la fachada	Plano paralelo con lamas horizontales	Plano frontal con lamas verticales	Lamas horizontales y verticales
	<p>Persianas y contraventanas: Puede ser modificada a voluntad, constituido por elementos y planos paralelos entre sí, tiene como objetivo controlar el nivel de iluminación natural en las edificaciones.</p>			
Externa	<p>Vegetación: Tiene por objetivo impedir que el calor por la radiación solar ingrese al interior de la edificación.</p>			
Intermedia	<p>Vidrios especiales: Evitan la entrada de parte de la energía contenida en la radiación solar, por su composición, por la combinación de dos efectos reflexión y absorción.</p>			
Interior	<p>Cortinas y estores: Permite controlar la radiación solar a través de los huecos verticales de la envolvente.</p>			

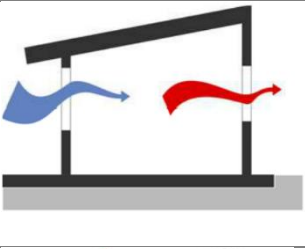
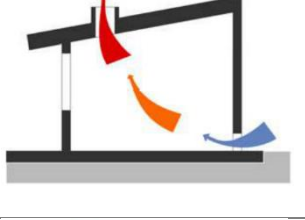
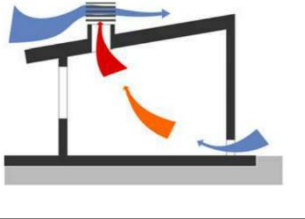
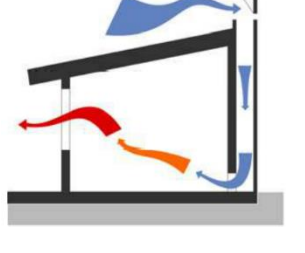
Fuente: (GONZALO, 2004; GRALA DA CUNHA, 2005; MONTERDE, 2014), Adaptado por la autora

## b) Ventilación natural (VN)

Es considerada aquella en que la renovación de aire se produce exclusivamente por la acción del viento o por la existencia de una gradiente de temperatura ente el punto de entrada y salida, Tabla 15.



Tabla 15: Sistemas de ventilación natural

<p><b>Cruzada:</b> Por acción del viento</p>	<p><b>Huecos</b> Circulación de aire a través de ventanas u otros espacios abiertos situados en lados diferentes, aprovecha las diferencias de presión, basándose en los vientos dominantes.</p>	
<p><b>Con tiro térmico:</b> Se recurre a mecanismos que incrementen la velocidad del aire.</p>	<p><b>Efecto chimenea</b> Es usado cuando la presencia de viento es escasa</p>	
	<p><b>Aspiración estática (Efecto Venturi)</b> Se genera el movimiento al interior a partir de la energía cinética al incidir los vientos dominantes en un dispositivo estático de aspiración.</p>	
<p><b>Inducida:</b> Se recurre a mecanismos que fuercen la entrada del aire frío al interior del edificio.</p>	<p><b>Torre de viento</b> Dispositivo que conduce el viento que circula por encima de la edificación hacia el interior de la misma.</p>	

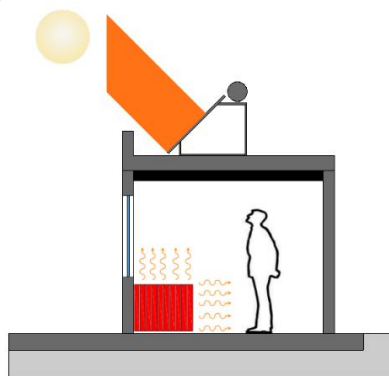
Fuente: (GRALA DA CUNHA, 2005; MONTERDE, 2014), adaptado por la autora

## 2.2 Estrategias activas

En este sub ítem se mencionará brevemente algunas estrategias activas que podrían ser aplicadas en la zona Mesoandina sobre todo para calefacción de la vivienda. Según Chwieduk (2014, p. 295), “Se han desarrollado varias tecnologías termo solares activas diferentes, las diferencias están relacionadas principalmente con las condiciones de consumo de calor determinadas por el tipo de consumidor de calor”. Un sistema de calefacción solar activo es un sistema que convierte la energía solar en calor útil de forma activa, utilizando colectores solares.

Según Dubravka (2010, p. 39), “Los sistemas activos son generalmente el conjunto de dispositivos que tienen función única y no forman la parte de construcción”. Una función de un sistema solar activo es recolectar energía solar, convertirla en calor, almacenar el calor y luego suministrarlo a un consumidor. (Figura 8).

Figura 8: Técnicas activas de calentamiento

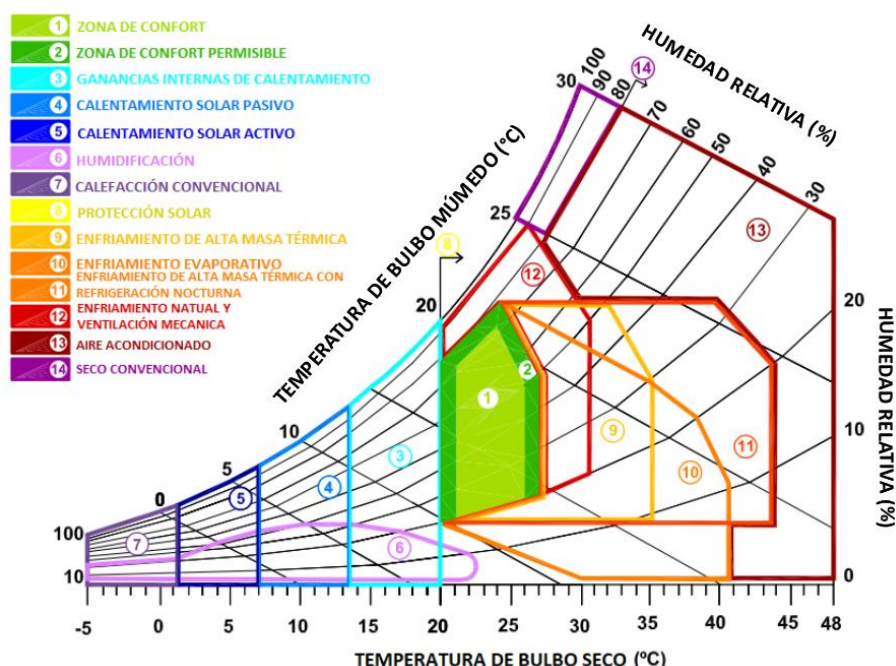


Fuente: (MANZANO; MONTOYA; SABIO, 2015, p. 5)

El funcionamiento de los sistemas activos es posible gracias a dispositivos mecánicos que refuerzan la circulación de un fluido de trabajo. Estos dispositivos pueden ser bombas de circulación (en sistemas de calentamiento de líquidos) y ventiladores (en sistemas de calentamiento de aire).

Dependiendo de condiciones climáticas en la carta psicrométrica la zona que indica la aplicación de calentamiento solar pasivo sería la zona 5 que corresponde a valores de temperatura que van entre 1°C y 7 °C (Figura 9).

Figura 9: Carta Psicrométrica adaptada de Givoni



Fuente: (MANZANO; MONTOYA; SABIO, 2015, p. 1)

### 2.2.1 Tipos principales de sistemas solares activos

Los sistemas de calefacción solar activos pueden clasificarse mediante varios criterios diferentes, como características esenciales, función, método de utilización de la energía solar, diseño, método de cooperación con otros dispositivos y sistemas o tecnología de fabricación. La clasificación de los sistemas de calefacción solar activa generalmente se basa en las siguientes características y propiedades.

Tipo de medio de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Líquido (agua o una mezcla de anticongelante, según el clima).</li> <li>- Fluido utilizado tanto en fase líquida como gaseosa (por ejemplo, refrigerante, aceite térmico).</li> <li>- Aire.</li> </ul>
Función a realizar por el sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calefacción de agua caliente solar (ACS);</li> <li>- Calefacción de ambientes (habitaciones);</li> <li>- Refrigeración/aire acondicionado.</li> </ul>
Sistema simple: en el caso de un sistema simple, solo cubre una de las posibles funciones de calefacción.	Sistema simple para todas las funciones (normalmente para calefacción de ambientes y ACS, lo que significa que la parte principal del sistema, incluido el acumulador de calor, es común para todas las funciones; sistema separado, con subsistemas separados para funciones individuales de un sistema: la instalación de ACS y calefacción de ambientes tiene tanques de almacenamiento separados, calentadores auxiliares y diferentes parámetros de funcionamiento.
Sistema multifuncional: los sistemas multifunción pueden cumplir más de una función.	Sistema multifuncional, donde una parte considerable del sistema solar y el tanque de almacenamiento principal (por ejemplo, almacenamiento intermedio) son comunes para todas las funciones, pero también hay ciertas partes dedicadas a funciones específicas (por ejemplo, tanques de almacenamiento adicionales o

	<p>calentadores auxiliares). Los sistemas de calefacción solar modernos son de este tipo.</p>
<p>Método de utilización de la energía solar:</p>	<p>Directo, donde la energía captada por los colectores solares se suministra directamente a los consumidores sin circuitos intermedios. En la práctica, este principio solo se puede utilizar en sistemas abiertos de calentamiento de agua (tipo flujo) en la agricultura y en los sistemas de ACS con termosifón más simples.</p> <p>Indirecto, donde existe más de un circuito entre el colector solar y el usuario. Esto siempre implica un circuito colector solar cerrado y otro circuito abierto si un sistema suministra sólo ACS; o un circuito cerrado si un sistema solo proporciona calefacción de espacios. Otros circuitos cerrados con equipo propio para hacer cumplir el flujo del fluido de trabajo (bombas de circulación o ventiladores), que están interconectados a través de intercambiadores de calor. Los circuitos pueden estar equipados con tanques de almacenamiento, calentadores auxiliares u otros dispositivos de calefacción (incluidas bombas de calor) con sus sistemas de instrumentación y control.</p>
<p>Número de fuentes de calor utilizadas dentro del sistema de calefacción:</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de fuente única, que no tienen fuentes de calor a excepción de los colectores solares. Ejemplos de tales sistemas incluyen instalaciones de termosifón utilizadas para calefacción de ACS utilizadas en muy buenas condiciones de insolación. En países de latitudes más altas, estos sistemas se pueden utilizar estacionalmente (durante el verano), cuando una alta irradiancia permite cubrir la demanda de ACS y posiblemente el agua de la piscina por completo;</li> <li>- Sistemas de doble fuente (bivalente o híbrido), utilizados principalmente para ACS, aunque también son posibles aplicaciones de calefacción de espacios. A excepción de la energía solar, también utilizan otra fuente de calor auxiliar, generalmente convencional, especialmente en forma de varios calentadores eléctricos (por ejemplo, calentador eléctrico de varillas en un tanque de almacenamiento);</li> <li>- Sistemas multi-fuente, que son sistemas solares con múltiples fuentes de calor auxiliares, en su mayoría del tipo combinado. Las soluciones típicas implican la cooperación entre el sistema solar y una bomba de calor, y un calentador convencional auxiliar para cargas máximas, típicamente un calentador eléctrico o una caldera de gas/aceite.</li> </ul>
<p>Método de fabricación del sistema</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de calefacción solar elaborados en fábrica, que son productos individuales que se ofrecen bajo un nombre comercial, vendidos como kits completos listos para instalar con configuración fija. Este enfoque se utiliza para sistemas de ACS en forma de:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sistemas combinados colector-almacenamiento;</li> <li>○ Sistemas de termosifón;</li> <li>○ Sistemas con circulación forzada - sistemas de calefacción solar activa.</li> </ul> </li> <li>- Los sistemas de calefacción solar hechos a medida, se construyen de forma única o se ensamblan a partir de una variedad estándar de componentes. Los subtipos incluyen:             <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Grandes sistemas personalizados para ACS y/o calefacción de ambientes (habitaciones), diseñados por ingenieros de HVAC y otros expertos para una aplicación específica;</li> <li>○ Pequeños sistemas a medida para la generación de ACS y/o la calefacción de ambientes (habitaciones), ofrecidos por una empresa proveedora, comercializados por esta y descritos en un llamado archivo de surtido. Se ensamblan a partir de componentes estandarizados y se configuran de la manera descrita en la documentación técnica del proveedor.</li> </ul> </li> </ul>

Fuente: (CHWIEDUK, 2014, p. 296–297)

Dependiendo de la función del sistema, su diseño y configuración pueden ser más o menos complejos. Dependiendo del patrón de carga de calor específico del usuario y la salida requerida, es posible que se requieran ciertos dispositivos y auxiliares (excepto los colectores solares) para garantizar el funcionamiento de todo el sistema y la carga de calor de cobertura.

Dependiendo de la complejidad de un sistema, sus elementos pueden incluir algunos (o todos) de los siguientes: colectores solares; tuberías de suministro y retorno; bombas de circulación en circuitos de circulación forzada; intercambiadores de calor que separan circuitos cerrados en un sistema; tanques de almacenamiento utilizados para acumular el calor suministrado por colectores solares u otras fuentes; dispositivos de seguridad que evitan un aumento excesivo de la presión o la temperatura (por ejemplo, vasos de expansión, válvulas de seguridad, conductos de ventilación); sistemas de instrumentación y control para circuitos y dispositivos individuales (incluidos sensores de temperatura, termostatos y válvulas de control, etc.); dispositivos o sistemas de calefacción convencionales auxiliares, que pueden soportar el sistema solar de forma continua o proporcionar un respaldo. Estos pueden incluir calentadores eléctricos o calderas que funcionan con gas, petróleo o biomasa; el equipo auxiliar que permite la utilización de calor a baja temperatura de una fuente solar u otra fuente de calor renovable a través de una bomba de calor. Enfriadores de absorción utilizados en sistemas de aire acondicionado y refrigeración solar. Los componentes interiores esenciales de un sistema de calefacción solar de tipo combinado (es decir, excluidos los colectores) que cooperan con una bomba de calor de suelo se muestran en la (Figura 10).

Figura 10: Cooperación del sistema de calefacción solar combinado (parte interior, es decir, excluidos los colectores solares) con una bomba de calor de suelo.



Fuente: (CHWIEDUK, 2014, p. 299)

La calefacción solar activa con los elementos que componen los calentadores de agua solares se pueden organizar en varias configuraciones, también llamado de circulación forzada. (Figura 11).

Figura 11: Calefacción solar activa del pabellón de laboratorios de estudios generales de la Universidad Nacional del Altiplano Puno - Perú



Calentadores solares de agua, instalados en la azotea



Sala de máquinas del sistema de almacenamiento y bombeo de agua

Fuente: Fotografías propias de las instalaciones

### 2.3 Conclusiones del apartado

Concluyendo se puede decir que las estrategias bioclimáticas pasivas dependen principalmente del buen manejo de la energía solar, por ser un recurso renovable, no contaminante y de disponibilidad global, aunado al manejo de las demás energías, que son específicas según el clima de cada lugar, ya sea para calefaccionar o refrigerar edificios y permitir de forma controlada la captación o protección solar según sea el caso, por medio de los sistemas pasivos señalados, que aportan diversas opciones de uso con el único fin de lograr confort de los ocupantes en el interior de la edificación, se recurre a ellos dado que un edificio se construye con el fin de cobijar y brindar un microclima interno, cada diseño posee requisitos específicos, es así que, diferentes diseños requieren diferentes sistemas de captación solar.

El diseño pasivo busca hacer uso de estos medios de forma equilibrada y apuntar a una vivienda que hace mejor uso y conservación de la energía, siendo una resultante de la combinación del efecto invernadero, la inercia térmica de los componentes del edificio, y un buen aislamiento térmico.

Para esta investigación se tomará como estrategia general la captación de radiación solar, puesto que se tratan de edificaciones existentes en área urbana, teniendo como criterio básico modificarlas lo menos posible. Las estrategias adoptadas en adelante según la información recolectada serán 2 (dos); mejora de la envolvente térmica (EnT) y calefacción solar (CS) que se considerarán las más relevantes para mejorar las condiciones internas, las mismas que se desglosan en cinco sistemas, que se detallarán a continuación:

- a) La primera estrategia a usarse será la EnT con el aislamiento térmico, es aquí donde se rememora lo aprendido en cuanto a las viviendas vernaculares de la zona Mesoandina.
- b) A seguir la conservación de la energía, por medio de vidrios y marcos con baja transmitancia térmica.
- c) Posteriormente, se buscará la acumulación térmica en fachadas orientadas al Ecuador y cubiertas con alta inercia térmica.
- d) Como segunda estrategia, se opta por la CS por sistema directo, es decir se analizará la posibilidad de usar a favor las ventanas y lucernarios, buscando la máxima captación posible de radiación solar.

- e) Se considerará, el empleo de la CS por sistema semidirecto, por pared, haciendo uso de un elemento de almacenamiento de calor.

Respecto a las estrategias de refrigeración (verano) no se hará uso de ellas, ya que las viviendas se hallan en disconfort por frío todo el año, se comprende que la protección solar no será útil en estos casos en específico, sin embargo, se tendrá en cuenta el empleo de la ventilación higiénica, procurando que sea de forma controlada.

Respecto a las estrategias activas no se tomará en cuenta en esta investigación pues la misma está enfocada sobre todo al estudio de las estrategias pasivas.

## **2.4 La vivienda de interés social en la zona Mesoandina**

En esta parte se pretende exponer que tanto se sabe del tema, iniciando con un breve histórico de la VIS en Latinoamérica, en Perú y en la ciudad tomada: Puno, ciudad situada al sur de Perú ubicada junto al lago Titicaca, el cuerpo de agua navegable más alto del mundo. La ciudad es un núcleo comercial regional y también se considera la "capital folclórica" de Perú. Señalando aquellas carencias con que se vino y viene concretándose por los programas del gobierno peruano como "ENACE" y "Techo Propio". Posteriormente se hace una revisión de la vivienda vernácula en la zona Mesoandina como ejemplo de adaptación bioclimática, se pretende analizar sus características (descripción formal, de materiales y constructiva) y rescatar aquellas estrategias usadas por los antepasados. Seguidamente se mostrará algunos referentes de VIS ejecutados en la zona Mesoandina peruana y de los países aledaños, para finalmente llegar a conclusiones de cada apartado.

### **2.4.1 Breve histórico**

Según Sarracina (2015): "[...] el estado se convierte en el principal sujeto de acción para proporcionar, financiar y organizar su entrega, su asignación se hace sobre la base de alguna evaluación de necesidad, más que de la capacidad de pago".

Se caracterizan principalmente por ser módulos de alojamiento simples que se repiten en forma y tamaño, responden a un determinado lote o parcela; generalmente son introducidas en zonas periurbanas o rurales retiradas en su mayoría de los sitios de trabajo y de los servicios. Las VIS aparecen como medida preventiva a los asentamientos informales y por tener un bajo



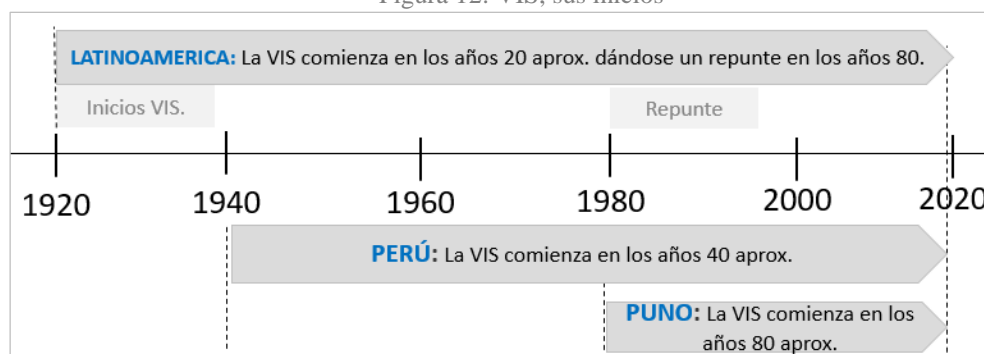
costo atienden a una población de mediana y baja renda sientan las bases de un fenómeno dentro del conjunto de componentes de la ciudad.

### c) En Latinoamérica

En el contexto Latinoamericano, varios países han lanzado ambiciosos programas en términos de aumentar la cantidad de unidades habitacionales, entre “[...] 1960 y 1999 el mundo pasó de 3.000 millones de habitantes a 6.000 millones, en este período Latinoamérica ha aportado aproximadamente un 8% del total de la población mundial, creciendo de 240 millones de habitantes en 1960 a 480 millones a la actualidad” (SALAS, 2002), lo que hace ver que en un lapso de 60 años Aprox. la población se ha duplicado.

Según Violich (1944, *apud* (LIBERTUN DE DUREN, 2017): “En América Latina la VIS, data de la década de los años veinte” y repunto en los años 80, Figura 12, Teniendo así más de un siglo de existencia a la actualidad. Ejemplos como Chile, que en 1996 llegó a producir 150.000 VIS, modelo que fue seguido por México, Brasil, Colombia, Costa Rica y el Perú a partir del año 2002, caracterizando así la ciudad contemporánea con un altísimo porcentaje de VIS, manifestados en cambios formales, los cuales tuvieron repercusión tanto en el entorno urbano como en sus habitantes.

Figura 12: VIS, sus inicios



Fuente: Elaboración propia

### d) En Perú

Según Calderón (2015): “[...] la VIS en el Perú inicia en 1940, producto del terremoto de Lima y Callao se pone en evidencia las penosas y precarias condiciones de vivienda siendo la Corporación Nacional de Vivienda (CNV) la primera en impulsar la VIS con la unidad

vecinal (UV3), Figura 13 y sus 115 viviendas proyectadas en el año 1945 a 1949. Siendo ente regulador el estado peruano, este proceso se dio en dos etapas:

- En la primera el estado ubicaba y adquiría terrenos diseñaba los programas y contrataba a la empresa privada para que ejecutara los conjuntos habitacionales al servicio de trabajadores que podían acceder al mercado inmobiliario, esta etapa no resulto debido a diversas crisis por y porque los fondos públicos empezaron a escasear, también porque las viviendas se encontraban fuera del alcance de los sectores con menos ingresos y solo estaba enfocándose a la clase media.
- En la segunda etapa, el objetivo fue destugurizar el centro tanto en la capital como en las provincias, caracterizándose por ser una vivienda de bajo costo, como solución a los problemas de ese entonces.

Figura 13: Unidad vecinal N°3



Fuente: (Instituto de investigación científica de la Universidad de Lima, 2015)

#### ▪ **Empresa nacional de edificaciones (ENACE)**

Fue creada en 1981, como empresa de derecho público, íntegramente de propiedad del estado peruano, al interior del sector de vivienda y construcción, según lo dispuesto en el Decreto Legislativo Nro. 149 sobre la base de la ex empresa administradora de inmuebles (EMADI PERU), siendo algunos ejemplos:

- El conjunto habitacional Alfredo Dammert Muelle, en Lima.
- La residencial de las Torres de Limatambo, en Lima.

- La urbanización 12 de noviembre en Palpa, Ica.
- Conjunto Habitacional Augusto B. Leguía, Chiclayo.
- Ciudad satélite Santa Rosa, Lima. Véase la Figura 14:

Figura 14: Ciudad Satélite Santa Rosa realizada por ENACE



Fuente: Haymes *et al.* (2017, p. 12)

Según Haymes *et al.* (2017): “[...] esta entidad fue concebida como una empresa de propiedad del estado, ágil y eficiente, en búsqueda de la promoción, la planificación, el financiamiento, la ejecución y la adjunción de programas de habilitación urbana, referentes a los programas habitacionales del Plan Nacional de Vivienda (PNV) 1980-1985”, formulados a inicios del gobierno de Belaunde Terry, arquitecto, estadista, político y orador peruano. Ejerció como presidente del Perú en dos mandatos no consecutivos: de 1963 a 1968 y de 1980 a 1985.

En las provincias del país se organizaron por unidades operativas, siendo este el periodo más prolífico en materia de VIS. Para la década de los noventa durante el gobierno de Alberto Fujimori y el cambio de constitución se dejó de reconocer a la vivienda restringiéndose el proceso de políticas públicas.

- **El Fondo Mivivienda y sus programas**

A inicios del año 2000 se realiza la creación del ministerio de vivienda construcción y saneamiento (MVCS), donde se encausa el problema de la vivienda en el país a la actualidad, aparece el Fondo Mi vivienda el cual se materializa por medio de dos programas del estado:

**-Nuevo crédito mi vivienda:** Programa que consiste en un crédito hipotecario que permite la compra de cualquier vivienda, construir un terreno propio o aires independizados o la mejora de la vivienda por una institución financiera intermediaria.

**-Techo propio:** Es un programa dirigido a las familias con bajos recursos económicos. A través de un bono familiar habitacional (BFH). Para acceder a la vivienda se debe estar registrado en un proyecto del programa.

A partir de agosto del 2011 se crearon nuevos productos crediticios en el marco de la promoción del arrendamiento de vivienda. Según el reporte nacional de vivienda social del año 2011 al 2016 los programas pasaron de 2 (dos) productos a 7 (siete), véase la Figura 15:

**-MiConstrucción:** Construir o mejorar la vivienda

**-Micasa+:** Permite migrar a una casa acorde a su crecimiento familiar.

**-Miterreno:** Brinda facilidades para adquirir un terreno de acuerdo a los ingresos futuros.

**-MI PROYECTO:** Cuyo objetivo es financiar la compra de terrenos o la finalización de proyectos.

**-MI ALQUILER COMPRA:** Orientado a entregar capital de trabajo a aquellas inmobiliarias que alquilan viviendas con opción de compra en el marco del régimen de promoción del arrendamiento para vivienda.



Fuente: (FONDO MIVIVIENDA, 2016 p.24)

Según el *Boletín estadístico del Perú* del año 2019, los créditos totales del fondo mi vivienda en el país desde el año 1999 al 2019 son 148.916, Figura 16.

Figura 16: Créditos otorgados en el Perú desde 1999-2019

Año	Número de créditos otorgados
1999-2004	20,622
2005-2010	36,332
2011	11,071
2012	11,309
2013	13,164
2014	10,777
2015	9,090
2016	8,082
2017	7,101
2018	9,144
2019	12,224
<b>TOTAL</b>	<b>148,916</b>

Fuente: (FONDO MIVIVIENDA, 2019, p. 13)

### e) En la ciudad de Puno

La VIS en la ciudad de Puno pasa por dos momentos; primero la construcción de viviendas ejecutadas por ENACE y posteriormente Techo Propio, los principales ejemplos se ubican en los sectores 6, 7 y 9, Figura 17.

Figura 17: Sectores de la ciudad de Puno con habilitaciones urbanas de VIS



Fuente: (MPP-PDU 2012-2022)

La Tabla 16 muestra un estimado de las VIS de los programas ENACE y Techo Propio mencionados anteriormente de acuerdo con el INEI (2011).

Tabla 16: Estimativa de VIS del programa ENACE y techo propio

Sector	Programa ENACE y TEPRO	Año	Ubicación	Lote
6	Urbanización Chanu Chanu I, II y III Etapa	1986	Chanu Chanu	2.000 Aprox
7	Urbanización Aziruni I y II y III Etapa	1994	Salcedo	2.500 Aprox
9	*San Felipe I	1994	Yanamayo	228
9	*San Felipe II	1994	Yanamayo	1.140
7	*Salcedo III	1996	Salcedo	116
7	*Urbanización-Ampliación Aziruni III	1996	Salcedo	64
9	*Ampliación San Felipe I	1997	Yanamayo	64
9	Ciudad de la Humanidad	1997-2018	Yanamayo	672
<b>Programa TEPRO</b>				
7	*APV. Trabajadores del sector transportes	2000	Salcedo	155
7	*Salcedo rinconada II	2001	Salcedo	227
9	*Techo propio Puno Urb. Sra. De Guadalupe	2005	Yanamayo	140
7	*Techo propio Puno, Aziruni II Etapa	2006	Salcedo	42
7	*Techo propio Puno, Aziruni III Etapa	2007	Salcedo	42
6	*Techo propio Puno, Asociación Pro-vivienda los andes	2010	Cancharani	67

Fuente: (INEI, 2011 p.161; AQUISE, 2017)

-El Sector 6 hacia el año 1986 con la urbanización Chanu Chanu, Figura 18, nace posterior a la inundación del año 1986 que elevo los niveles de la superficie del lago por lo que en este periodo se ubican en torno del cuartel Manco Cápac, con pendientes suaves se asienta a laderas del cerro Negro Peque y Cancharani.

Figura 18: VIS, sector 6 Chanu Chanu



Fuente: Google earth 2020, fecha de imágenes 07/2019



-El sector 7 hacia el año 1994, con la Urbanización Aziruni (I, II y III etapa) ubicado en Salcedo donde se observa dos tipologías características Figura 19.

Figura 19: VIS, sector 7, Salcedo



Fuente: Google earth 2020, fecha de imágenes 07/2019

-El sector 9 hacia el año 1997 con la Urbanización ciudad de la humanidad en Yanamayo Figura 20, se origina como iniciativa de apoyo a los damnificados de la zona circunlacustre de la ciudad de Puno “[...] por las inundaciones suscitadas en este año” (AQUISE, 2017, p. 207).

Figura 20: VIS, sector 9, Urb. Ciudad de la humanidad



Fuente: Google earth 2020, fecha de imágenes 07/2019

Hacia el año 2000 en adelante se continuaron construyendo VIS en adición a los sectores iniciados por ENACE o en nuevas habilitaciones, siendo ejecutados por el MVCS y el programa Techo propio. Así mismo desde el año 2012 al 2020, según el portal web del Fondo Mivivienda (2021) se observa que en el departamento de Puno se han edificado VIS en las zonas periféricas de la ciudad de Juliaca perteneciente al mismo departamento, siendo de destacar “Praderas del INKA” y la residencial “Perlas del altiplano” Figura 21 y Figura 22, se las nombra para indicar que desde los años ochenta a la actualidad la tipología insertada en este contexto no ha sufrido grandes variaciones en cuanto a sus características formales y constructivas.

Figura 21: VIS, Praderas del INKA



Fuente: (PRADERAS DEL INKA, 2021)

Figura 22: VIS, Perlas del altiplano



Fuente: (PROHABIT, 2016)

### 2.4.2 La vivienda vernácula

Según Neila (2004, p. 10-13): “La arquitectura vernácula<sup>1</sup>, es la primigenia arquitectura bioclimática [...] representa el uso de materiales y sustancias con criterios de sostenibilidad”. Sin poner en riesgo su uso para las generaciones futuras, representa el concepto de gestión energética óptima de los edificios de alta tecnología mediante la captación pasiva y acumulación de energías renovables, la integración paisajística el empleo de materiales autóctonos, de los criterios ecológicos y de eco construcción. Entonces la arquitectura bioclimática actual se interpreta como una arquitectura popular evolucionada, que responde a una adaptación a determinado lugar, región o país; es la narración física de la historia de una población y su interrelación con el medio ambiente, ha estado presente a lo largo de la historia de los cuales aún encontramos muchos ejemplos dignos de estudio.

De acuerdo con Singh *et al.* (2010 *apud* MANZANO *et al.*, 2015; MOLINAR, 2017 p. 5), a lo largo de la historia “[...] ha experimentado una evolución, adquiriendo conocimientos

---

<sup>1</sup> Del lat. vernacūlus. adj. Dicho especialmente del idioma o lengua: Doméstico, nativo, de la casa o país propios.



sociales, culturales, religiosos, económicos, tecnológicos y climáticos, para producir diseños arquitectónicos bastante singulares”. Hay miles de arquetipos vernáculos en todo el mundo  
Figura 23.

Figura 23: Componentes globales: modelos de casos vernáculos

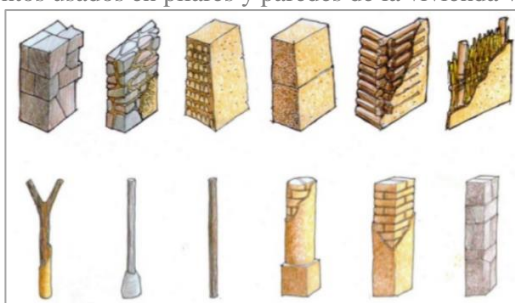


Fuente: (MOLINAR, 2017, p. 16)

Cada uno con un conjunto de factores que los hacen identificables para una cultura o región específica, pudiendo ser, “independientes” como; las carpas, chozas o cabañas que se usaron numerosamente en las cordilleras, domos o cúpulas, etc. Así como las “complejas”, conformadas por viviendas comunitarias que conforman un conjunto.

En el Perú para la edificación de viviendas vernáculos destaca la tierra cruda y la piedra que fue el material más utilizado durante varios siglos. La Figura 24, muestra ejemplos de los materiales usados y su disposición en elementos estructurales y de tabiquería, tales como la piedra, adobe, madera, quincha (caña y adobe). Estos ejemplos compusieron la característica física de la vivienda realizada con materiales autóctonos.

Figura 24: Elementos usados en pilares y paredes de la vivienda vernacular en Perú



Fuente: (BURGA, 2010, p. 110)

En la zona Mesoandina peruana se destacan dos ejemplos que representan esta arquitectura primigenia: Los Putucos, vivienda ancestral construida con C’hampa (tierra con paja dura), de planta cuadrada o rectangular techada con una falsa bóveda de barro en forma de cono., y la vivienda típica de los Uros, etnia de lengua Uro-Aymara, uno de los pueblos más antiguos del continente americano que se asentó en el Lago Titicaca.

### a) Los Putucos

Esta vivienda vernácula Mesoandina se ubica entre los 3.800 a 4.000 m.s.n.m. en zona aymara y quechua, desde el 2014 el Ministerio de Cultura a través Resolución viceministerial Nro. 116-2014-VMPCIC-MC (2014), realiza la "Declaratoria de patrimonio cultural de la nación a los conocimientos, saberes y técnicas relacionados con la construcción de Putucos en los distritos de Taraco, Huancané, Samán y Arapa, en Azángaro departamento de Puno". Según Burga (2010, p.19): “[...] tiene vestigios de ocupación que podría tener una antigüedad de 14.000 años”.

**Descripción formal:** Se organiza de forma aislada o en torno a un patio íntimo de la familia, Figura 25:

Figura 25: Ubicación y perspectiva de vivienda vernacular



Fuente: Izquierda, ubicación de los Putucos en el departamento de Puno, derecha perspectiva y levantamiento D, familia Cayma Yucra (MARUSSI, 1999), abajo derecha, Putuco (Foto tomada por Nicolás Valencia)

Según el libro *Arquitectura vernacular los putucos de Puno* del arquitecto peruano Ferruccio Marussi, este tipo de vivienda persiste como una arquitectura espontánea resulta un ejemplo de sencillez constructiva, máximo aprovechamiento de materiales locales e integración al paisaje. Es una vivienda rural, principalmente con la función de dormitorio, cocina y depósito.

**Materiales:** Los materiales usados se aprecian en la Figura 26 de izquierda a derecha: C’hampa (I) término en idioma quechua que se utiliza para designar a una tierra trabada con

raíces entrecruzadas, que se extrae del suelo en forma de paralelepípedo, el Ichu o quemello planta que conforma la C’hampa, continúa creciendo al estar expuesto a la humedad y permite el enraizamiento a través de toda la albañilería. Los materiales son extraídos de forma manual del suelo (I) y tras el proceso de corte y secado son colocados en la vivienda (II).

Figura 26: Materiales usados en la vivienda vernacular



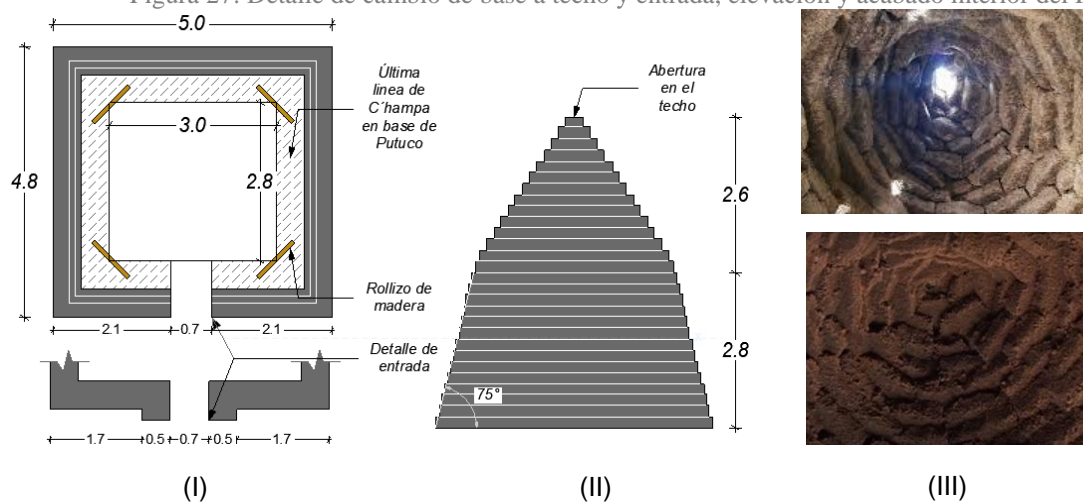
(I)

(II)

Fuente: (PROJECT UROS, 2020)

**Descripción constructiva:** En la construcción los muros se erigen en base cuadrada (I) y posteriormente se continúa instalando las Ch’ampas, véase la Figura 27, usualmente es simétrica, la altura de la base es igual a la del techo, el ingreso tiene dos muretes laterales y evita que el agua de lluvias ingrese por la puerta (II). Según Suaña (2004 *apud* GAMIO, 2017, p. 2): “[...] se catalogaron dos tipos de planta, que varía en el detalle de murete de ingreso, el elemento puerta no existe en estas edificaciones poniendo una plancha metálica o madera para cerrar el ingreso”.

Figura 27: Detalle de cambio de base a techo y entrada, elevación y acabado interior del Putuco)



(I)

(II)

(III)

Fuente: Adaptado de Suaña (2004, *apud* GAMARRA, 2019, p. 106)

Algunas de estas construcciones tienen una abertura en el vértice superior de 10 centímetros de diámetro (III), para facilitar la salida de humo (en el caso de Putucos cocina). No cuenta con terminaciones interiores.

**Estrategias bioclimáticas:** Aprovecharon el uso de la C'hampa que tiene como característica fundamental el aislamiento térmico. Según Miranda (2009, p. 141) la transmitancia térmica del muro considerando la velocidad de viento promedio de 5 m/seg. es de  $U= 1,25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ , proveendo de buen aislamiento térmico debido a su elevada inercia térmica, hay un mayor retraso térmico ganando calor para el interior y que como arquitectura vernacular ha aprovechado las energías renovables contrarrestando el frío. De acuerdo con Marussi (1999 *apud* GAMARRA, 2019, p. 83) en su estudio de temperaturas, concluye que al realizar la medición el día 14 de agosto del año 1999 a las 0:36 h se obtuvo una temperatura interior de  $11 \text{ }^\circ\text{C}$  cuando en el exterior se encontraba a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  y una diferencia de  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  al interior con respecto a una vivienda tradicional de adobe y calamina. Guevara (2015 *apud* GAMARRA, 2019, p. 105) concluye que el Putuco alcanza una diferencia con el exterior de  $6,39 \text{ }^\circ\text{C}$ , acota que la forma cónica de los techos de los Putucos proporciona mayor acumulación solar y menor exposición a los vientos. Lo que permite tener mayor ganancia térmica al interior y atraso térmico por el tipo de material usado, así mismo la edificación se calienta más que un elemento ortogonal y cúbico (Viviendas de adobe tradicionales) de la misma proporción.

## **b) Las islas de los Uros**

Las islas de los Uros en el Lago Titicaca, a 5 km del puerto de la ciudad de Puno, Figura 28, conformada por más de 100 islas Uro-Aymara (cada una con 3 a 10 familias), divididas en dos sectores; sector Uros Chulluni y el sector de las islas flotantes, albergando 475 familias, las que se dedican a la pesca y el turismo.

**Descripción formal:** Se organizan en una franja alineada por una sucesión de islas, abarcan diversos usos entre ellos el de vivienda, Figura 28.

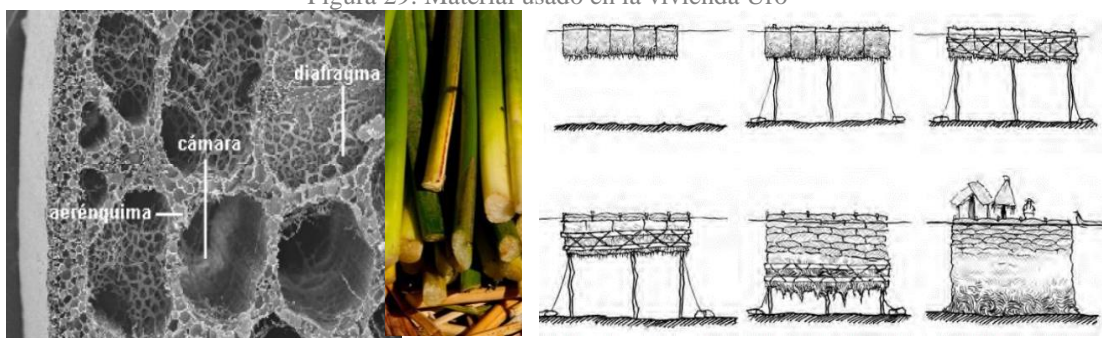
Figura 28: Islas flotantes, vivienda Uro, ubicación y forma típica de vivienda



Fuente: Extraído de la página web, <http://www.vidasurrealista.com/2014/01/15/islas-flotantes-de-los-uros/>. Accedido el 04 mayo. 2020.

**Materiales:** Usan un único material, la Totora, planta acuática, fasciculada, que, usada para construir sus casas, fabricar sus barcas, alimentar a sus animales, etc. Según Viñuales (2013, p. 58): “[...] este recurso local y biodegradable de fibra gruesa llena de alveolos interiores, tiene un buen desempeño permitiendo la flotación de la isla, elemento térmico necesario para combatir el frío en las vivienda”, (Figura 29).

Figura 29: Material usado en la vivienda Uro



Fuente: (AGENCIA AGRARIA, 2021; AZA, 2016)

**Descripción constructiva:** Para evitar desplazamientos, cada isla se asienta en un bloque compacto de totora llamado Khili, conformado por Totoras entrelazadas de dos o tres metros de altura aproximadamente. Las viviendas son rectangulares y deben ser elevadas con respecto al nivel de piso para evitar el ingreso de humedad. “Se soportan en listones de madera que son



unidos entre sí con clavos y amarres formando la estructura de los muros y cubierta inclinada, luego son recubiertos con esteras de totora al que sus pobladores llaman *Kesanas*” (AZA, 2016, p. 25), (Figura 30).

Figura 30: Armado de la “Kesana”, material usado para el techo y muros de la vivienda



Fuente: (SOMOS, 2019)

**Estrategias bioclimáticas:** La vivienda Uro se beneficia del efecto termorregulador del lago Titicaca, la forma compacta y el uso de la Totora como material aislante que permitió la adecuación del hombre a este entorno. La vivienda con escasez de ventanas es común desde antaño pues evita pérdidas de calor.

### 2.4.3 Referentes de vivienda de interés social

A continuación, se relata algunos ejemplos encontrados en la zona Mesoandina. Cabe señalar que no se encontraron datos detallados referentes a sus características térmicas por lo que se procedió a describir solamente sus aspectos formales, los materiales usados y las principales estrategias utilizadas.

#### a) VIS, la Paz-Bolivia

**Descripción formal y material:** Se caracteriza por ser una vivienda aislada construida en el sector rural de La Paz, capital administrativa más alta del mundo, ubicada en la meseta del Altiplano de los Andes a más de 3.500 m sobre el nivel del mar en Bolivia, construidas en el año 2016 a una altura de 3.600 metros sobre el nivel del mar, consta de 31.377 viviendas, ubicadas en la zona rural de la Paz, cada unidad familiar posee (3) tres ambientes tales como dormitorios, sala de estar, baño, cocina. Fueron entregadas por la agencia estatal de vivienda de Bolivia (AEVIVIENDA, 2020).

**Estrategias bioclimáticas:** Aprovechamiento de las propiedades térmicas del adobe. Aislamiento de las ventanas con doble vidrio hermético (DVH).

Figura 31: VIS, la Paz Bolivia



Fuente: (AEVIVIENDA, 2020)

### b) VIS, Putre-Chile

**Descripción formal y material:** Viviendas pareadas o plurifamiliar adosada, construidas entre el año 2006 al 2019, consistente en un conjunto habitacional denominado “Taapaca-Marka” cuenta con 55 m<sup>2</sup>. La unidad familiar con cuatro ambientes (tres dormitorios, sala de estar, baño, cocina), de pertinencia arquitectónica e indígena aymara.

**Estrategias bioclimáticas:** Se valieron de la mejora de la envolvente térmica (EnT) en los muros perimetrales (albañilería de ladrillo estucados con mortero de hormigón), y ventanas de DVH (termo paneles) siendo el aislamiento su principal estrategia para aminorar las fluctuaciones diarias de temperatura (SERVIU, 2019).

Figura 32: VIS, Putre Chile



Fuente: (SERVIU, 2019)

### c) VIS, FONCODES-Perú

**Descripción formal y material:** Vivienda aislada, construidas por el ministerio de desarrollo e inclusión social (MIDIS) denominadas “Mi abrigo”, consistente en VIS construidas en diferentes departamentos del país como Apurímac, Cusco y Puno, Tacna, Moquegua, Arequipa, Huancavelica, Áncash, Ayacucho, Huánuco, Junín y Pasco. A una altura mayor a 3.500 msnm, conformado por 519 viviendas en Puno y 990 viviendas rurales convertidas en casas térmicas, se usó el adobe como material autóctono (FONCODES, 2020).

**Estrategias bioclimáticas:** La mejora en la envolvente térmica (EnT) por medio del aislamiento en ventanas con doble vidrio hermético (DVH), el aislamiento en puertas, falso echo con malla tipo arpillera, como segunda estrategia se usó la Calefacción solar (CS) con sistemas indirectos por pared (muro trombe). Logrando con estas adecuaciones incrementar 10 °C a la temperatura habitual de la casa.

Figura 33: VIS, FONCODES Perú



Fuente: (FONCODES, 2020)

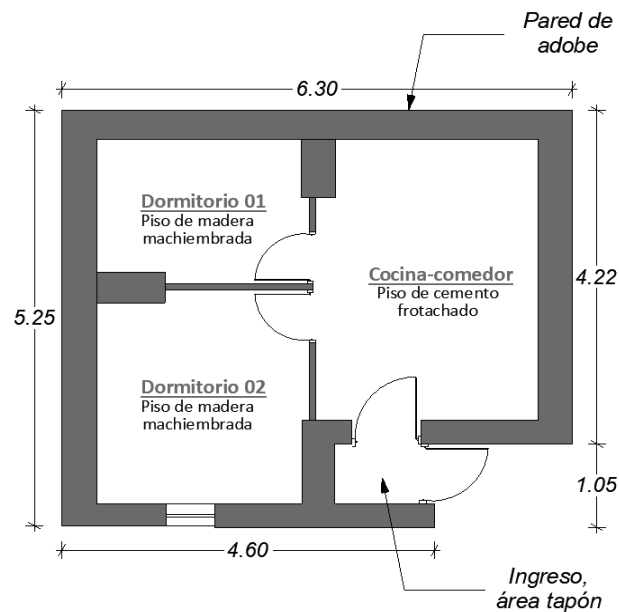
### d) VIS, Sumaq Wasi –Perú

**Descripción formal y material:** Vivienda aislada, en el departamento de Puno, construidas en los distritos de Juli, Desaguadero, Huacullani, Pomata y Zepita, cuenta con 40 m<sup>2</sup>, con muros de adobe con refuerzo horizontal y vertical (caña brava o carrizo); consta de tres tipos de ambientes: dormitorios, cocina, comedor, (PCM, 2019).

**Estrategias bioclimáticas:** Para evitar la pérdida de calor se usó un área “tapón” que evita que las corrientes frías del exterior ingresen directamente al módulo logrando incrementar la temperatura en 8 °C respecto a la vivienda tradicional, no indica cuanto es la temperatura de la vivienda tradicional.



Figura 34: VIS, Sumaq wasi Perú



Fuente: (PCM, 2019, p. 30)

### e) VIS, CER-UNI, Perú

**Descripción formal y material:** Vivienda aislada, construidas en el año 2010 entre los 3000 y 5000 msnm, consistente en un conjunto de viviendas con la siguiente ubicación:

*Vivienda 1: San Francisco Raymina, Vilcas Huamán*

*Vivienda 2: Ayacucho*

*Vivienda 3: Vilcallamas Arriba*

*Vivienda 4: Chucuito, Puno*

El material optado es el adobe por sus prestaciones térmicas y el uso de la madera en pisos, ventanas y puertas

**Estrategias bioclimáticas:** Se usó como principal estrategia los sistemas de CS directos, (ventanas en el techo), véase la Figura 35, además se usó un sistema de calefacción solar semidirecta como un invernadero de plástico, un sistema indirecto por pared como es el muro trombe modelo fitotoldo, aislamiento interior en cielorraso con tapajuntas centrales y entramado de madera., se logró incrementar 8° C (8:00 h), y 11 °C (14:00 h) respecto a la temperatura exterior

Figura 35: VIS, CER UNI Perú



Fuente: (CER- UNI, 2017)

#### f) VIS, Koñichuyawasi-Perú

**Descripción formal y material:** Vivienda aislada, ubicada en Cusco Langui, Canas: denominada “Casa caliente limpia” Figura 36. Desarrollada en el año 2012 por el GRUPO PUCP, que realiza proyectos de desarrollo sostenible en energía, agua, agricultura y vivienda para mejorar la calidad de vida de la población rural del Perú; consiste en un módulo de vivienda para el sector rural en adobe, en beneficio de 100 familias, 5 colegios y 5 postas médicas de las zonas rurales altiplánicas de Cusco y Puno, construidas a más de 4.000 msnm, con el aprovechamiento de la inercia térmica del adobe (CASTILLO, 2016).

**Estrategias bioclimáticas:** Se propuso la mejora de la EnT con un sistema de aislamiento de techos (malla tipo arpillera cubierta con una capa de cola y yeso), un sistema de CS semidirecta (pared caliente) que contiene estructura de policarbonato y madera, además de una cocina mejorada, terma solar, proyecto que plantea aumentar 10 °C a la vivienda, alcanzando una temperatura máxima de 14 °C, en Julio del 2016 al medio día.

Figura 36: VIS, Koñichuyawasi Perú



Fuente: (GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL, 2017)

#### 2.4.4 Conclusiones del apartado

Las VIS en la zona Mesoandina fueron concebidas con programas del estado que mayoritariamente se enfocaba en el aspecto cuantitativo, intentando dotar de la mayor cantidad posible de unidades de vivienda dejando de lado el aspecto cualitativo de la misma; en este proceso se dio poca atención a los criterios de calidad, bienestar y salud en su interior.

Las estrategias que permiten que la vivienda responda al clima del lugar tampoco fueron tomadas en consideración, en este punto donde la vivienda no pudo superar por si sola esta brecha, trayendo consigo la pobreza energética en la que se encuentra actualmente, pues estos hogares no han llegado a satisfacer sus necesidades de energía absoluta, lo que según Felmer (2018): “[...] es la incapacidad de una vivienda de proveer un servicio energético básico en este caso garantizar condiciones mínimas de temperatura y confort térmico sin causar dificultad económica ni deteriorar la calidad ambiental de los miembros de un hogar”. Es por ello que la VIS debería ser flexible y evolutiva en cuanto a su diseño, pues es de esperar que con el paso de los años sufra cambios en todo su periodo de vida útil.

Del Ítem 2.1.2, se concluye que la arquitectura vernácula nos deja conocimientos tradicionalmente usados en la adecuación del hombre a determinado medio, como se observa en los dos ejemplos mostrados, en los cuales resaltan los siguientes aspectos.

-La EnT como principal estrategia de aislamiento pasiva: en ambos casos se valieron del atraso térmico, de un mono-material como es la C’hampa y la totora, que fueron usados en paredes, techo y piso, puesto que ambos materiales presentan mejores respuestas al ceder el calor almacenado con la fluctuación de temperatura externa (TE), con el objetivo de mantener el

calor interno y no perderlo al exterior, usando sus materiales como receptores de la radiación solar en la envolvente y aislantes.

-Uso de ventanas o vanos acristalados: Se realizó de forma estratégica para obtener irradiación solar directa, manteniendo proporciones pequeñas para tener menos superficies de contacto con el exterior y en consecuencia la pérdida de calor.

-Factor de forma: Se optó por viviendas compactas, con un factor forma con proporciones de 1/1, sin divisiones interiores, lo que les permitió evitar zonas de estancamiento, pues los espacios compactos requieren menos energía para calentarse y según la bibliografía consultada son las más adecuadas para climas fríos.

-Material del lugar: Al ser construcciones autóctonas, no generan impacto ambiental y tienen un coste asequible, puede realizarse por los propios usuarios, forma parte de su cultura y tradiciones. El tratamiento tecnologico es usado desde antaño y aún se mantiene, siendo bien aprendido. Si estas viviendas fuesen abandonadas o tuvieran daños, con los años volverían a ser parte de la superficie de donde fueron construidas, manejo que debiera tomarse en cuenta en las construcciones actuales.

De este apartado se concluye que al hacer la búsqueda en la zona Mesoandina se encontraron dos ejemplos de VIS en los países vecinos de Chile (a), Bolivia (b) y cuatro ejemplos en el contexto peruano: FONCODES (c), Sumaq Wasi (d), CER-UNI (e), Koñichuyawasi (f), véase la Tabla 17. Todos los ejemplos referentes a viviendas del sector rural, con un área entre los 40 a 90 m<sup>2</sup>, los cuales hacen uso de los materiales de la zona como es el adobe y el ladrillo.

Tabla 17: Comparación estrategias VIS

Estrategias	Referentes de VIS señalados					
	a	b	c	d	e	f
Calefacción solar (CS)						
-CS (sistema directo):						
Aprovechamiento de una ventana translúcida en el techo						
-CS (sistema semidirectos):						
Invernaderos adosados en algunos casos de vidrio y en otros de plástico, con marco de madera.						
-CS (Sistemas indirectos por pared): como es el muro trombe con vidrio, plástico o policarbonato.						
EnT						
-Aislamiento en pisos						
-Aislamiento en muros						

-Aislamiento en ventanas (doble vidrio hermético)	■	■	■	■	■	■
-Aislamiento en puertas, uso de doble puerta			■			
-Aislamiento de techo, falso techo de estera, barro y paja o triplay					■	
-Espacios aislantes, área “tapón” al ingreso de la vivienda				■		
Otros	■	■	■	■	■	■
-Equipos solares (Térmicos o fotovoltaicos)					■	
-Cocina o fogón mejorado					■	

Fuente: Elaboración propia

Se observó que la estrategia más usada la mejora térmica de la envolvente (EnT), con el aislamiento en falso techo Tabla 17, esto debido al uso general de cobertura metálica en acero galvanizado, comúnmente llamada “calamina”. En segundo lugar, se ha utilizado la estrategia de calefacción solar CS por sistemas directos, indirectos y semidirectos. Con ello indican haber incrementado la temperatura entre 3 a 10 °C respecto a su estado actual con las estrategias señaladas, alcanzando una temperatura máxima de 14 °C al medio día visto en el ejemplo de VIS - Koñichuyawasi-Perú (f).

## 2.5 Confort térmico y normativas

Etimológicamente la palabra *confort* proviene del latín *confortare* (hacer más fuerte) formado por el prefijo *con* (junto) y *fortare* (hacer fuerte), de *fortis* (fuerte). “También es la misma raíz de la palabra *confortar* animar, dar fuerza” (GODOY, 2012, p. 5). La Norma ISO 7730 define el confort térmico como: la sensación que está relacionada con un estado de satisfacción o comodidad (el sentirse bien) del ser humano frente a unas condiciones determinadas del ambiente higrotérmico circundante. La condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico, es entonces una sensación neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado. Según Lamberts (2016, p. 3): “El confort térmico es definido como una sensación humana fuertemente relacionada con subjetividad, y depende principalmente de factores físicos, fisiológicos y psicológicos”.

Las condiciones del confort térmico están en función de la actividad desarrollada “[...] por la ropa del individuo y las variables ambientales que proporcionan intercambios de calor entre el cuerpo y el medio ambiente” (FROTA et al. 1995, traducción propia).

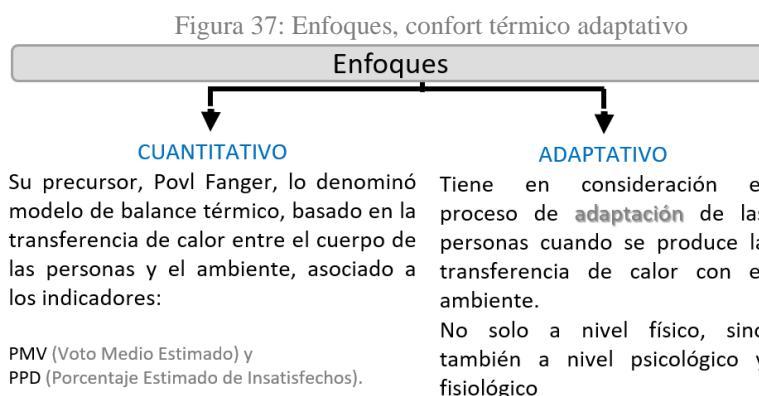
Se dio inicio con los conceptos de confort debido a la creación de viviendas de manera industrial en el siglo XVIII, en 1916 los primeros estudios sobre la influencia de las condiciones termo higrométricas en el desempeño laboral fueron desarrollados por la comisión

estadounidense de ventilación, en 1962 McPherson definió los siguientes seis factores que afectan a la sensación térmica y que aún hoy son utilizados en la mayoría de los estándares:

**VARIABLES FÍSICAS TALES COMO:** temperatura aire (°C), velocidad del aire (m/s), humedad relativa (%), temperatura media radiante (°C).

**VARIABLES PERSONALES:** nivel de arropamiento (Clo), nivel de actividad (met)

Y en adelante se afianza con la creación de la ASHRAE en 1984 es entonces donde la climatización se convierte en industria y se comienza a hacer investigaciones sobre el confort a nivel científico hasta la actualidad. La medición del confort térmico presenta dos enfoques bien diferenciados: por un lado, el cuantitativo y por otro el adaptativo. La Figura 37 indica los enfoques del confort térmico adaptativo.



Fuente: Elaboración propia

Los modelos de evaluación han evolucionado con el paso del tiempo, así las aportaciones de los autores De Dear, Bragger (1997), (1998) y Givoni (1998): “[...] han permitido ajustar las condiciones de confort térmico dependiendo de la ubicación geográfica, climatología y preferencias térmicas de las personas” (ANGUITA; ARCO; HIDALGO, 2018, p. 57).

### 2.5.1 Confort térmico adaptativo

El confort adaptativo tiene su origen en numerosos estudios de campo con métodos estadísticos, en ellas se encontró que muchas personas consideraban condiciones confortables en condiciones fuera de los rangos predichos por los modelos matemáticos de confort, Nicol y Humphreys (2002), plantean la definición básica de que el confort adaptativo es aquel que “si

ocurre un cambio que genera desconfort, las personas reaccionaran llevando a cabo acciones para volver al estado de confort”. Estos estudios sirvieron de base para la implantación del modelo adaptativo en el estándar ASHRAE 55 y en el EN UNE 15251. La expresión lineal adoptada fue la siguiente (Fórmula 1):

$$T_{conf} = 17,8 + (T_{p.ext} \times 0,31), \text{ donde:}$$

$T_{conf}$  = Temperatura de confort

$T_{p.ext}$  = Temperatura promedio exterior de bulbo seco

De Dear y Brager (1998), plantean la adaptación, que se define como la reducción gradual de la respuesta de un organismo a una estimulación repetitiva de un ambiente, tales como:

-Adaptación comportamental: Acciones consientes o inconscientes que realizan los ocupantes en donde modifican su balance térmico, como quitarse o ponerse una prenda, encender un ventilador o hacer una siesta en las horas de más calor.

-Adaptación fisiológica: A lo largo de su periodo de vida, el individuo mantiene una exposición prolongada a determinados ambientes por lo que desarrolla estrategias fisiológicas para adecuarse a esas condiciones.

-Adaptación psicológica: Se refiere a la habituación psicofísica, por la exposición repetida a un estímulo, reduce la magnitud de respuesta.

### **2.5.2 Normativa para la evaluación del confort térmico adaptativo**

Este apartado pretende hacer una revisión de la normativa existente sobre confort térmico en Perú, Brasil y a nivel internacional, refiriéndose a las zonas climáticas con características similares a la zona Mesoandina, para luego adentrarse a la normativa internacional pertinente.

La mayoría de los estándares y normas de confort térmico actuales están basados en los estudios realizados por Fanger, y sus modelos de balance térmico también llamados modelos *estáticos* o modelos *constant*. Su modelo es la base sobre la que se desarrollan estándares y son creados para ofrecer a la industria y al público en general un método repetible y comparable que sirva para testear si se cumple un determinado propósito. La creación de estándares está determinada por la necesidad de referencia técnica, avanzan y se actualizan con mucha mayor



rapidez que las normativas. Posteriormente son las normativas, una vez los estándares ya están aceptados en la comunidad profesional, las que se basan en estos para desarrollar sus reglamentos. La incorporación del método adaptativo como evaluador del confort, se ha introducido en las versiones de ASHRAE 55 y UN 15251. Sin embargo este método no ha sido incluido en la *Norma ISO 7730*.

**a) Normativa peruana: EM. 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética**

La Norma *EM. 110*, la única en cuanto a confort existente en el Perú, en vigor desde el año 2014, abarca 9 puntos y 7 anexos haciendo un total de 50 páginas, de acuerdo con su respectiva base legal, del punto 1 al 5, explica generalidades, campo de aplicación de la norma, marco normativo, glosario y referencias normativas internacionales. En la Tabla 18 se observa las normativas usadas como referencia.

Tabla 18: Referencia peruana: Norma EM. 110

Real Decreto 2429/79 (España)	Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79, sobre Condiciones Térmicas en los Edificios	Julio 1979
Norma ASHRAE 55	Thermal environmental conditions for human occupancy.	1992
Norma IRAM 11603 (Argentina)	Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bio-ambiental	Diciembre 1996
Norma IRAM 11625 (Argentina)	Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general.	Abril 2000
Norma IRAM 11604 (Argentina)	Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límite	Febrero 2001
Norma UNE-EN ISO 10077-1 (Chile)	Características térmicas de ventanas, puertas y contraventanas. Cálculo del coeficiente de transmisión térmica. Parte 1: Método simplificado	Junio 2001
Documento básico HE (España):	Ahorro de energía	Enero 2006
Norma NCH 853- (Chile)	Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancia térmicas	Marzo 2006
Código Técnico de la Edificación – CTE (España)	Catálogo de elementos constructivos del CTE	Mayo 2007
Código de edificación de vivienda (México)	CEV	Marzo 2010
Norma NOM -020-ENER-2011	Eficiencia energética en edificaciones – Envoltente de edificios para uso habitacional.	2010

Fuente:(MCVS, 2014)



El punto 6 refiere a las zonas bioclimáticas existentes en el Perú (9 zonas) Tabla 19, detallados en dicha normativa, aquí las provincias de cada departamento son colocadas según la zona climática según sus características climáticas equivalentes a la clasificación Koppen, véase el (ANEXO 1)

Tabla 19: Ubicación por zona climática

Departamento	1 Desértico marino	2 Desértico	3 Interandino bajo	4 Mesoandino	5 Altoandino	6 Nevado	7 Ceja de montaña	8 Subtropical húmedo	9 Tropical húmedo
--------------	--------------------------	----------------	--------------------------	-----------------	-----------------	-------------	----------------------------	----------------------------	-------------------------

Fuente: (MVCS, 2014, p. 12)

La normativa peruana se ciñe a definir aspectos implícitos en el confort térmico y lumínico, la definición de confort térmico si es usado en la norma, pero no dispone de un apartado donde se explique alguna metodología a usar para determinarlo según el tipo de ambiente, indica que para el caso de la vivienda la temperatura interior debe ser de 18 °C. Hace falta se actualice respecto a las referencias internacionales y que exponga métodos de implementación que consideren las variedades climáticas del país. Cabe destacar que, desde el mes de mayo de 2019, las principales universidades peruanas y el ministerio de vivienda comenzaron a trabajar en dicha actualización.

**b) Normativa brasilera: ABNT NBR 15220-3: 2005-Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social y ABNT NBR 15575: Parte 1: Requisitos gerais**

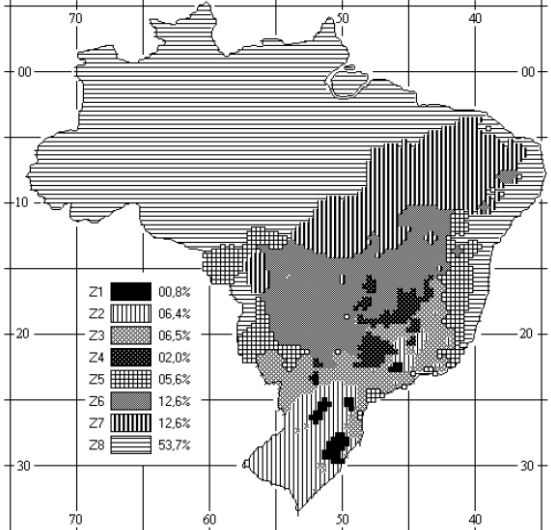
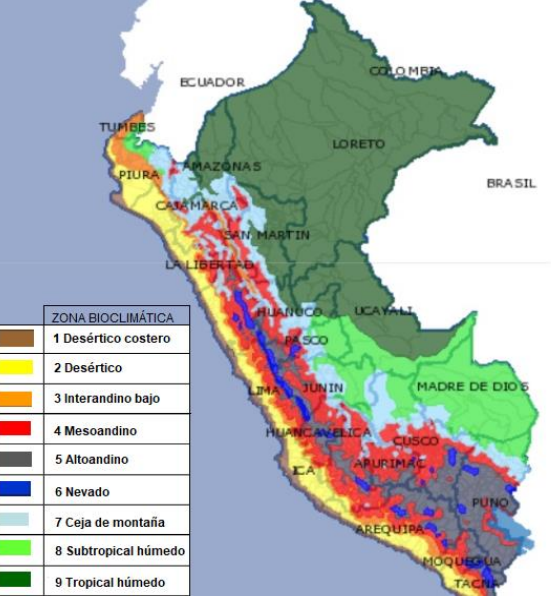
En esta parte se pretende hacer una comparación de las normativas *NBR 15220* y *NBR 15575* (Brasil) con la norma *EM. 110* (Perú), con el fin de establecer puntos en común en cuanto a las zonas bioclimáticas de cada una, para tomarlas como referencia y resolver su aplicabilidad en esta investigación.

**b.1) NBR 15220, Desempenho térmico de edificações-Parte 3**

La norma *NBR 15220, Desempenho térmico de edificações-Parte 3*, aunque es una normativa en vías de sustitución aun es de referencia sobre el desempeño térmico de las viviendas unifamiliares de interés social. Define 7 puntos y 4 anexos (A y B de carácter normativo) y (C y D de carácter informativo). Este acápite es bastante específico pues se refiere

al desempeño térmico de viviendas unifamiliares de interés social aplicables en la fase de proyecto, “No trata de los procedimientos para evaluación del desempeño térmico de edificaciones, los cuales pueden ser elaborados a través de cálculos, mediciones in situ o simulaciones computacionales” (ABNT, 2003, p. 2), más bien está referido a directrices constructivas en relación con el tamaño de las ventanas, el sombreado necesario, el tipo ideal de paredes y coberturas. También las estrategias de acondicionamiento térmico pasivo. La Tabla 20, refiere un comparativo entre las normativas:

Tabla 20: Comparativo de las normativas: NBR 15220 y EM 110

NBR 15220	EM 110
<p>La NBR 15220 Desempenho térmico de edificações, establece el zoneamiento bioclimático en Brasil, dividiéndola en ocho zonas bioclimáticas, con sus respectivos porcentajes en el territorio, como se aprecia en la figura de abajo.</p> 	<p>La normativa peruana, cuenta con un mapa de zoneamiento señalando sus nueve zonas bioclimáticas por franjas.</p> 
<p>La NBR 15220 comprende 5 partes en las que se infiere el desempeño térmico en las edificaciones: Parte (1) Definiciones, símbolos y unidades, (2) Métodos de cálculo de transmitancia, capacidad térmica, atraso térmico, y del factor solar de elementos y componentes de edificaciones. (4) Medición de la resistencia y conductividad térmica, por el principio de placa caliente protegida. (5) Medición por el método fluximétrico</p>	<p>En cuanto a la norma peruana se podría decir que es más general, no está dividida por partes incluye de los puntos 1 al 5 generalidades, definiciones, campo de aplicación de la norma, marco normativo, al igual que los métodos de cálculo de transmitancia térmica en el envoltorio.</p>
<p>Las zonas bioclimáticas 1 y 2, son las zonas más frías de Brasil, son tipificadas como un clima subtropical; en este tipo de clima las temperaturas se sitúan por debajo de los 20 °C y la amplitud anual varía en 9 °C a 13 °C. Presenta lluvia (entre 1500 mm/año). El invierno es riguroso en las áreas más elevadas, donde puede nevar. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Esto correspondería según Koppen a una clasificación Csb y Csc, clima de latitud media con verano seco templado y frío.</p>	<p>Las zonas más frías en la normativa peruana son la 4 (Mesoandino), 5 (Altoandino) y 6 (Nevado), clasificándolas con un clima Dwb, Cwb y Cwc, de invierno seco y frío.</p>

<p>La tabla D3 de la normativa, indica la transmitancia térmica, capacidad térmica y atraso térmico para diversos tipos de paredes y coberturas, los cuales muestran una ventana más amplia y general en cuanto a los procedimientos constructivos más usados en las zonas bioclimáticas de Brasil.</p>	<p>El punto 7 de la normativa, titulado confort térmico: demanda energética por zona bioclimática, especifica los valores máximos de transmitancia térmica de los elementos constructivos de la edificación, para la zona Mesoandina (foco de esta investigación) establece una transmitancia térmica máxima para muros=2,36, techo=2,21 y piso=2,63.</p>
---	---

Fuente: (ABNT, 2003; MVCS, 2014)

## **b.2) ABNT NBR 15575: 2013-Desempenho de edificações habitacionais**

Esta norma se enfoca en las exigencias del usuario de un edificio habitacional independientemente de sus materiales y su sistema constructivo, se centra en su comportamiento de uso y no en cómo es construido, pues esas características son más específicas, cita como referencia a diversas normas de la ABNT, indica que la edificación habitacional debe reunir características que atiendan las exigencias de desempeño térmico considerando su respectiva zona bioclimática. Tal como se define en la ABNT 15220-3. Se trata de una normativa acerca del desempeño de las edificaciones para atender a los requisitos del usuario (cualitativos), por medio de la definición de criterios (cuantitativos) y métodos de evaluación, sin abordar o recomendar, sin embargo, indicadores de confort térmico.

### **c) Normativa internacional: ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana)**

El estándar *ASHRAE 55-2017*, especifica las condiciones para entornos térmicos aceptables y está diseñada para su uso en el diseño, operación y puesta en servicio de edificios y otros espacios ocupados: “[...] en las secciones 4 y 5 especifica métodos para determinar las condiciones ambientales térmicas (temperatura, humedad, velocidad del aire y efectos radiantes)” (ANSI/ASHRAE 55, 2017), El estándar cuantifica como seis los factores ambientales que influyen en las condiciones de confort térmico que coinciden con los descritos por Macpherson en 1962, descrito anteriormente en la Figura 37.

El propósito del estándar es especificar las combinaciones de factores ambientales térmicos interiores y factores personales que producirán condiciones ambientales térmicas aceptables para la mayoría de los ocupantes dentro del espacio. Para el caso de edificios climatizados emplea un método gráfico y otro analítico, para el caso del modelo adaptativo, desde el 2004 incluye un método opcional para establecer las condiciones térmicas aceptables

en espacios acondicionados naturalmente controlados por el ocupante (Sección 5.4), donde indica las condiciones para su aplicabilidad:

-No hay un sistema de enfriamiento mecánico (por ejemplo, aire acondicionado refrigerado, enfriamiento radiante o enfriamiento por desecante) instalado. No hay sistema de calefacción en funcionamiento.

-Para la aplicabilidad de este método establece durante el diseño, se debe definir un "ocupante representativo", y la velocidad y temperatura del aire que experimentan debe ser un promedio en todo el cuerpo humano a tres alturas de medición típicas. Los ocupantes representativos tienen tasas metabólicas que varían de 1.0 a 1.3 met. son libres de adaptar su ropa a las condiciones térmicas interiores y/o exteriores dentro de un rango de 0,5 a 1,0 clo.

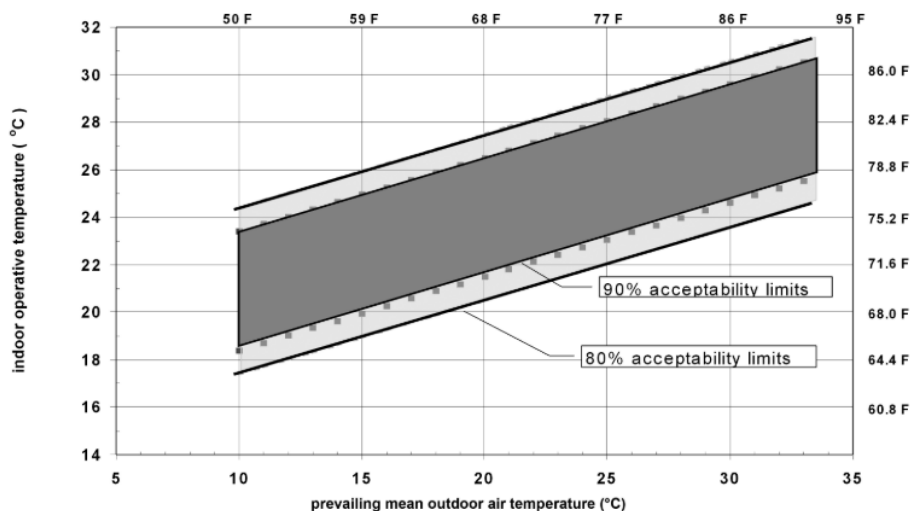
-Además, los ocupantes deben realizar acciones para mejorar su sensación de confort con la posibilidad de abrir y cerrar los vanos.

Este método se basa en la ecuación de confort adaptativo de De Dear, que define dos rangos de TO de confort para temperaturas medias mensuales exteriores mayores a 10 °C y menor a 33,5 °C, quien se preocupó en obtener los límites de confort para una aceptabilidad del 90 y 80% (proporción teórica de personas que se sentirían confortables).

Para obtener ambas zonas de aceptabilidad, da por válida una de las asunciones de la teoría de Fanger, que afirma que: “[...] un grupo de, voto medio previsto (PMV) entre -0,85 y +0,85 se corresponde con un, porcentaje de insatisfechos previsto (PPD) del 20% y un grupo de, voto medio previsto (PMV) entre -0,5 y +0,5 se corresponde con un porcentaje de insatisfechos previsto (PPD) del 10%” (DE DEAR; BRAGER, 1998).

Aplicando esto a su base de datos, obtuvo que los usuarios encuestados que habían respondido que tenían una sensación térmica entre esos valores se encontraban con una temperatura operativa (TO) que oscilaban en  $\pm 5$  °C para un porcentaje de insatisfechos del 90% y  $\pm 7$  °C para un porcentaje de insatisfechos del 80%. Basándose en esto, es que la norma incluye estos criterios explicados en la Figura 38:

Figura 38: Temperaturas operativas aceptables para edificios pasivos de acuerdo con el estándar ASHRAE 55



Fuente: (ANSI/ASHRAE, 2017, p. 15)

Es importante el hecho de que el disconfort local se considere incluido en los valores de 10% o 20% de disconfort, según los límites de TO elegidas, que son resultado de ensayos de campo, donde los ocupantes ya están sometidos a los factores que pueden provocar el disconfort local, por lo tanto, sus valoraciones de percepción térmica ya están incluidas. Por último, las condiciones necesarias para aplicar este método coinciden con aquellas descritas como necesarias para que se produzca adaptación según la *Norma ISO 7730*.

### 2.5.3 Conclusiones del apartado

En general las normativas se apoyan en estándares internacionales, los cuales son usados en el día a día por la comunidad técnica y profesional, así que estas determinan la manera en la que se diseñan los espacios. Por este motivo es fundamental que se analice como tratan el tema las principales normas para el diseño de ambientes interiores. Hace falta incorporar métodos de confort que sean aplicables en edificios y que tomen en cuenta las zonas en que estos se localizan.

La Norma *EM 110* debe actualizarse, como lo hacen otras normativas, pues sirve como base para procedimientos futuros, y por ende para el confort interior de cada edificación; también debe contemplar la evaluación a largo plazo del ambiente interior, resultado de cálculos o mediciones *in situ*.

En cuanto a las normas brasileñas ABNT NBR 15220 y ABNT NBR 15575, pese a que están en vías de revisión, son las referencias para estudios con respecto a la vivienda social en términos de desempeño térmico. La primera establece las zonas bioclimáticas brasileñas y sugiere estrategias para obtención de confort térmico, mientras que la ABNT NBR 15575 tiene su foco en el desempeño las edificaciones para atender a los requisitos de usuario (cualitativos), por medio de la definición de criterios (cuantitativos) y métodos de evaluación (prescriptivo o simulación). Ninguna de ellas, sin embargo, aborda o recomendar rangos de admisibilidad cuanto al confort térmico.

La norma internacional ASHRAE 55-2017, por su parte se diferencia de las demás por incluir en la norma métodos de evaluación de forma cuantitativa y en esta actualización incluye el método adaptativo, teniendo en cuenta las características del usuario.

La presente investigación tomó por buenas algunas recomendaciones de la NBR 15220, que indica estrategias de invierno para las zonas bioclimáticas 1 y 2:

- La forma, la orientación y la implantación de la edificación, además de la correcta orientación de superficies vidriadas, pueden contribuir para optimizar su calentamiento en el periodo frío, a través de la incidencia de la radiación solar.
- El color exterior de sus componentes también desempeña un papel importante en el calentamiento de los ambientes, por medio de la radiación solar.
- La adopción de paredes internas pesadas puede contribuir para mantener el interior de la edificación calefactado.

Respecto a la normativa peruana *EM. 110*, se consideró el punto 7, que especifica los valores máximos de transmitancia térmica para la envolvente; muros=2,36, techo=2,21 y piso=2,63. Se buscarán materiales que cumplan con estos requisitos.

El estándar ASHRAE 55-2017, se tomará el límite de confort para el 80% de confort por el tipo de clima del estudio de caso, bajo los criterios del método adaptativo una vez que las temperaturas medias de bulbo seco exterior están más cerca del límite interior de la aplicabilidad recomendada para el estándar.

## 2.6 Pautas arquitectónicas en la zona Mesoandina

Para cerrar el capítulo de la revisión bibliográfica, se ha podido extraer algunas pautas para intervención en viviendas existentes y el diseño de nuevas edificaciones referentes a la VIS, en pro del confort térmico. Principalmente enfocado hacia las soluciones pasivas.

### 2.6.1 Pautas generales

***Incorporar sistemas pasivos:*** Haciendo un replanteo en cuanto a los beneficios de mejorar el estado actual de una vivienda existente, con la visión de la renovación de los barrios, se debe adoptar la inclusión de nuevas etapas de modo que las personas puedan estar dentro de la vivienda y hacer uso de la misma lo más posible.

***Utilizar preferentemente materiales autóctonos:*** Que puedan provocar una mayor apropiación y valoración de técnicas ancestrales adecuadas a su vivir provocando una mayor apropiación y valoración de técnicas ancestrales, provocando una mayor identificación con su entorno, teniendo en cuenta la vida útil de la vivienda a replantear fomentando economía y utilización de mano de obra local

***Mayor concientización en cuanto a los beneficios tangibles e intangibles:*** Es notorio que los pobladores prefieren la solución menos eficiente debido a su bajo costo en cuanto a recursos, dejando de lado nuevas medidas. Es necesario explicar a la población de los beneficios tangibles como el ahorro en energía y combustible usado en el interior de la edificación e intangible con la mejora de la salud de los ocupantes.

***Incentivar hábitos eficientes en el uso de la vivienda:*** Es necesario que se tenga en cuenta el buen uso de la energía ganada pues el uso de estrategias pasivas depende de los hábitos de los moradores en cuanto al manejo de las aberturas de la edificación, sobre todo en horas de la noche y madrugada donde se generan las mayores pérdidas de calor.

***Manejo de políticas gubernamentales hacia mejora termoenergética de la edificación:*** Se hace indispensable un manejo de políticas que incentiven la adopción de tecnologías y sistemas constructivos que respeten el medio ambiente, por medio de incentivos financieros que animen a los propietarios a hacer uso de ellas, es por ello que es necesario incentivar la densificación planificada haciendo mejora de la normativa existente y el planteo de nuevos

estándares que apunten a la mejora termoenergética. Como sugiere Amorim *et al.* (2011, p. 106): “[...] una solución sería la descentralización de las políticas habitacionales con mayores exigencias de participación de los municipios en las decisiones en donde y que construir [...] por lo que urge invertir en equipos técnicos municipales, lo que implica educación y valorización de los profesionales”, se necesita mayor conciencia en la responsabilidad de la gestión de programas de VIS.

***Inversión en técnicas constructivas y personal capacitado:*** Esta es una de las barreras más altas pues actualmente las empresas que suministran materiales no están enfocados a proporcionar materiales con características térmicas para cada zona climática en el Perú, por ello es necesario se investigue sobre las posibilidades existentes con materiales accesibles al poblador.

### 2.6.2 Pautas formales y constructivas para la VIS

En esta parte se concibió realizar algunas pautas de intervención en viviendas existentes y el diseño de nuevas edificaciones para VIS, considerando algunos aspectos formales, así como el cuidado del manejo de los componentes del edificio sea por; techo, muros y piso:

Tabla 21: Aspectos formales

<b>Forma</b>	En cuanto a la forma de las edificaciones
<b>Diseño</b>	En cuanto al diseño de nuevas VIS
<b>Envoltente térmica</b>	Aislamiento en muros Aislamiento en techos Aislamiento en pisos
<b>Materiales autóctonos</b>	Utilización de materiales autóctonos y adecuación con otros materiales
<b>Ventanas</b>	Aperturas para permitir calefacción solar Acristalamiento Carpintería en marcos de ventanas
<b>Contraventanas</b>	Uso de contraventanas

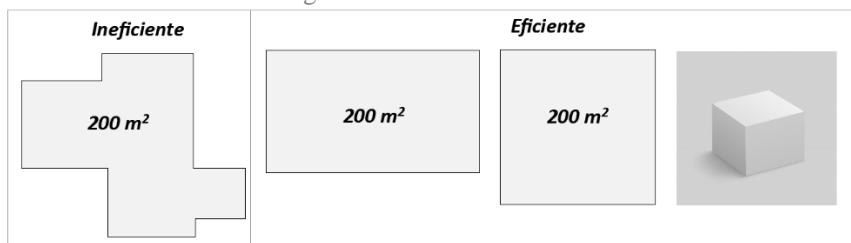
Fuente: Elaboración propia

***En cuanto a la forma de las edificaciones:*** Los diseños complejos conducen a más esquinas y juntas por las que se pierde energía, también crea más áreas de superficie que pueden perder calor. Siendo así recomendable restringir el número de paredes exteriores para que la pared expuesta se mantenga al mínimo. Según (OTHMAN *et al.*, 2009, p. 12) “[...] En un caso ideal, el diseño de un edificio buscará maximizar la relación entre el área de piso utilizable y el área de la pared exterior (incluido el techo). La forma ideal teórica sería una esfera, porque se



trata de un volumen maximizado frente a una envolvente mínima. La siguiente forma más utilizable sería un cubo”, Figura 39.

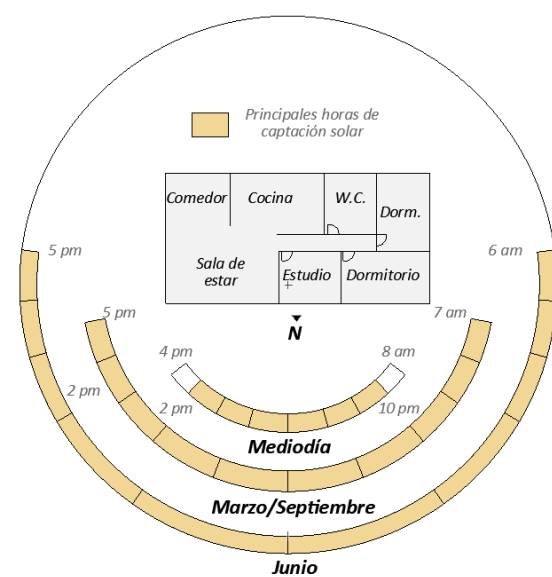
Figura 39: Forma de las edificaciones



Fuente: Elaboración propia

**En cuanto al diseño de nuevas VIS:** Un diseño de espacios ideal sería para maximizar la exposición de la radiación solar en la zona Mesoandina, como el que se muestra en la Figura 40. Donde los dormitorios que están ocupados en la noche deban estar ubicados en lado oeste para recibir la radiación solar de la tarde, los usados frecuentemente como una oficina o una sala de estar deban estar ubicados de cara al Norte y espacios de menos uso como la cocina, servicio higiénico al lado Sur. Pues se debe aprovechar al máximo las principales horas de captación solar, este tipo de disposiciones beneficiaran en gran medida el confort interno del ambiente.

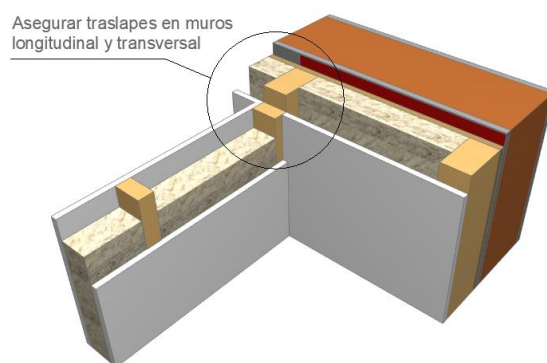
Figura 40: Diseño ideal de espacios



Fuente: Elaboración propia

**Aislamiento en muros:** Un buen aislamiento no debe excluir la consideración de la hermeticidad, los puentes térmicos y las ventanas adecuadas. Un aumento en la cantidad de ventanas o puertas disminuye el rendimiento de un edificio. Por ello se debe tener en consideración que el aislamiento por sí solo no funciona si no es trabajado de forma conjunta, desde el punto de vista de confort térmico en climas Mesoandinos. Para el aislamiento en muros es recomendable también cuidar los traslapes de muros prestar cuidado a las uniones térmicas en “T”, Figura 41.

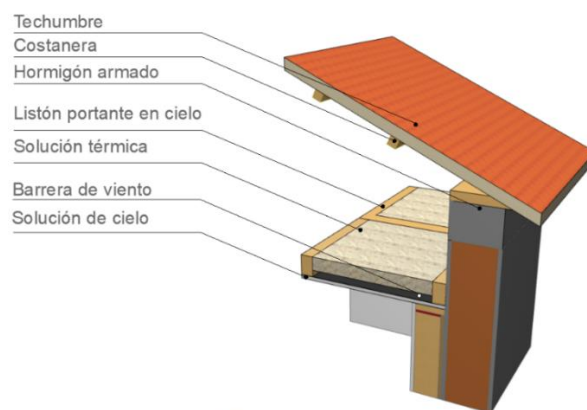
Figura 41: Aislamiento en muros, traslapes



Fuente: Elaboración propia

**Aislamiento en techos:** Asegurar los encuentros de entramado en techumbre con la albañilería, para ello se deberá incluir un sello para evitar las infiltraciones de aire exterior. Para el caso de techos de ambientes de permanencia es recomendable incluir un falso cielorraso conformado por la solución térmica, una barrera de viento para evitar polvo e ingreso de agua, e incluir la solución de cielo.

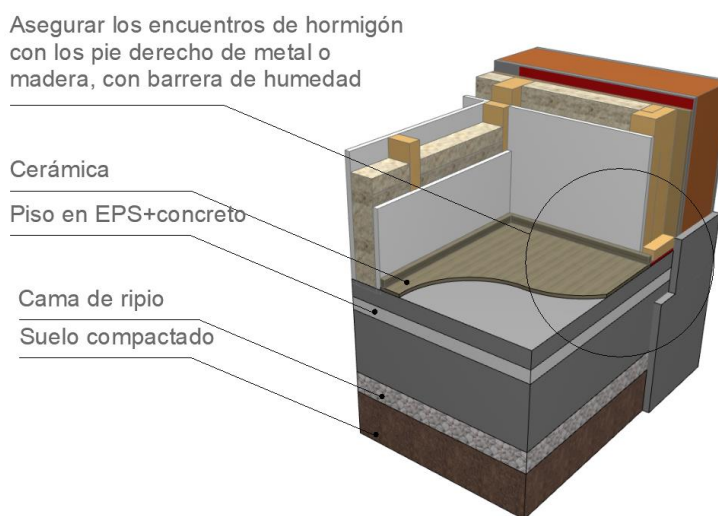
Figura 42: Aislamiento en techos



Fuente: Elaboración propia

**Aislamiento en pisos:** Según Thorpe (2018, p.72): “[...] La masa térmica del suelo debe ser mucho más de 100 mm, para poder regular la constante de tiempo de absorción y liberación del calor”. El piso debe estar aislado por debajo y a los lados recomendándose pisos suspendidos con un aislante por debajo. Una pauta importante para construcciones nuevas sería colocar por encima del suelo compactado una cama de ripio o gravilla de piedra para evitar el ingreso de la humedad por capilaridad. Ver Figura 43:

Figura 43: Aislamiento en pisos, encuentros



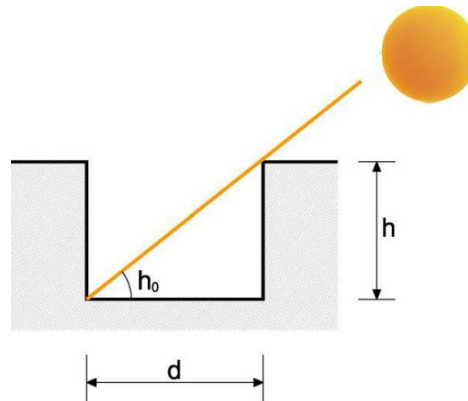
Fuente: Elaboración propia

**Utilización de materiales autóctonos:** Por representar alternativas viables que promueven soluciones al problema del frío en la zona Mesoandina, tanto para construcciones nuevas como para adecuaciones, lo más adecuado es el uso de materiales autóctonos. Por su baja contaminación; la piedra, tierra, madera y las fibras vegetales son materiales reciclables de bajo coste energético. Los usos de materiales aislantes con residuos agrícolas ayudarían también en los problemas de reciclado de materiales y el ciclo de los edificios.

**Aperturas para favorecer la calefacción solar:** Para el uso de aperturas se recomienda utilizarlas siempre y cuando estén en orientación norte para favorecer la calefacción solar, en orientación sur su uso debe ser limitado pues favorecen las pérdidas. Considerar también que una buena orientación no garantiza el acceso al sol durante un periodo de tiempo, es necesario tener en cuenta la obstrucción de los edificios en función de la altura y distancia en que se encuentran por lo que para nuevas edificaciones, la relación entre el ancho de la calle y la altura se da por el ángulo de obstrucción  $h_0 = \text{Arctg } h/d$ , si  $h$  es menor o igual que  $d$ , existe un óptimo

acceso solar, si es mayor el asoleamiento empeora, relación que sería desfavorable si se quiere mayor ganancia solar. Hay que pensar en la condición más desfavorable posible (solsticio de invierno). Se recomienda evitar el uso de parasoles pues dificultan el acceso solar Figura 44.

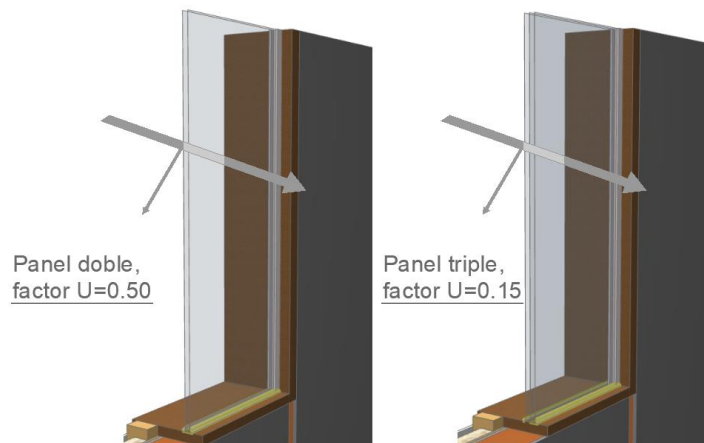
Figura 44: Acceso solar



Fuente: Elaboración propia

**Acristalamiento:** Para diseñar ventanas que contribuyan a la calefacción pasiva en los meses más fríos del invierno sin un riesgo de sobrecalentamiento asociado en el verano, es fundamental equilibrar la ubicación, el tamaño y las características de transmitancia térmica de la ventana, con valores bajos. Véase la Figura 45.

Figura 45: Acristalamiento

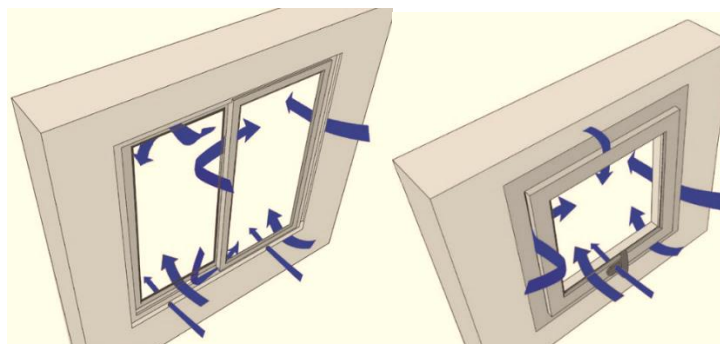


Fuente: Elaboración propia

**Carpintería en marcos de ventana:** Para mantener un clima cálido en la zona Mesoandina, es necesario tener ventanas de calidad para que no haya pérdida de temperatura a

través de filtraciones de aire. Ver Figura 46.

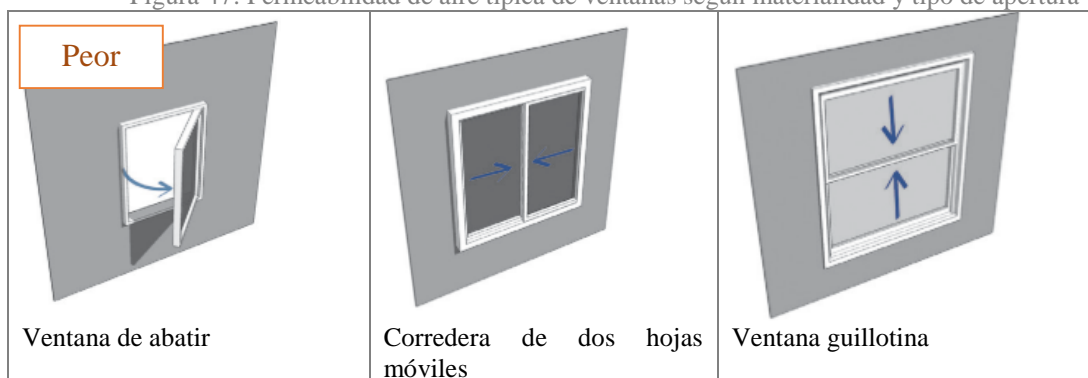
Figura 46: Infiltraciones en aberturas

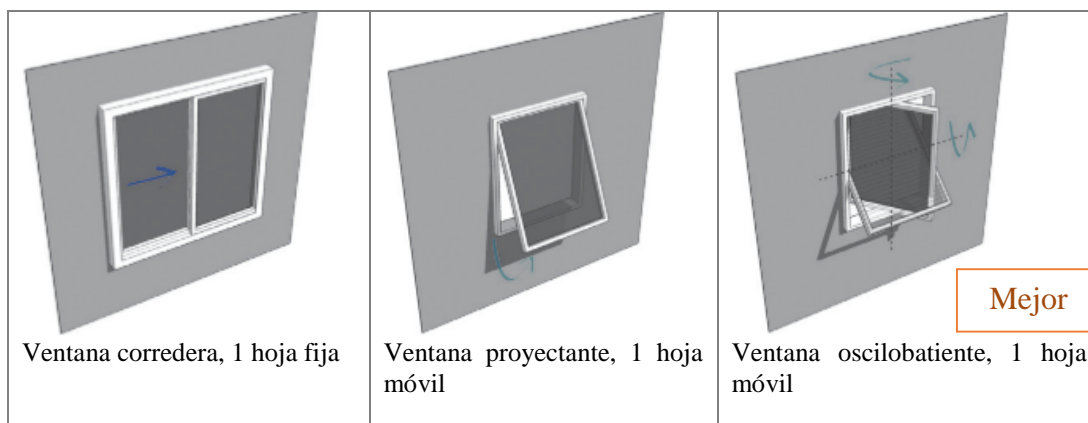


Fuente: Elaboración propia

Hacer uso de ventanas que otorguen buenas prestaciones como la incorporación de doble o triple vidriado hermético (DVH, TVH) mejorará el aislamiento. El aluminio con rotura de puente térmico (RPT) es una buena opción para evitar las infiltraciones. La elección del material para la fabricación de la ventana tiene una importancia vital. Pensando que esta elección, no sólo afectará a la estética, sino que, sobre todo, afectará al confort interior durante muchos años. Otro aspecto a tener en consideración es el rango de permeabilidad de aire. La norma *EM. 110* indica que para la zona Mesoandina se debe considerar un rango de permeabilidad:  $< 20 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$  (para presiones hasta 300 Pa). Se debe tener en cuenta respecto a la forma de apertura utilizarse a seguir se ejemplifica el orden de peor a mejor, Figura 47.

Figura 47: Permeabilidad de aire típica de ventanas según materialidad y tipo de apertura

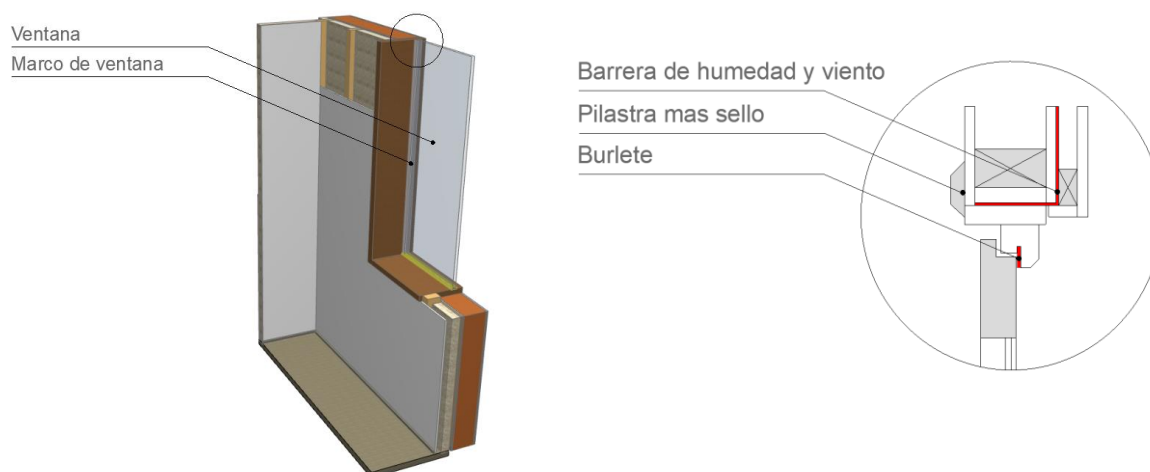




Fuente: Elaboración propia

El marco es el eslabón más débil por el cual se producen infiltraciones y pérdida de calor, además de sus características “visibles” como el color, las dimensiones y el espesor, han de tenerse en cuenta también las propiedades “invisibles” que son perceptibles a los sentidos, como el confort térmico. El uso de un doble vidrio, reduce la posibilidad del empañamiento en los vidrios, al minimizar la condensación por humedad, reduce el efecto de “pared fría” aumentando el confort junto a la ventana, por lo que se recomienda su uso. El uso de sellos en marcos, batientes y vidrios sería lo ideal, además del control de ingreso de agua por la techumbre. Se recomienda prestar cuidado no solo en el sistema de ventana sino en la forma en cómo se resuelve en conjunto, es decir, hoja de ventana, marco, dispositivo de cierre y evacuación de aguas. Es aconsejable la instalación de ventanas térmicas con marcos aislados consistentes en aislamiento interno (marco a muro, batiente a marco, vidrio a batiente). Véase la Figura 48.

Figura 48: Selección de una ventana térmica, marcos con aislamiento



Fuente: Elaboración propia

***Uso de contraventanas:*** Son especialmente deseables para el confort térmico interior estas pequeñas puertas exteriores o interiores incorporadas a la ventana mediante bisagras, pueden abrirse y cerrarse cuando sea necesario para proporcionar un mejor aislamiento en las ventanas, contribuyendo así en el aislamiento de los ambientes en horas de la noche y madrugada. Véase la Figura 49.

Figura 49: Contraventanas



Fuente: (ALJUMAR, 2021)

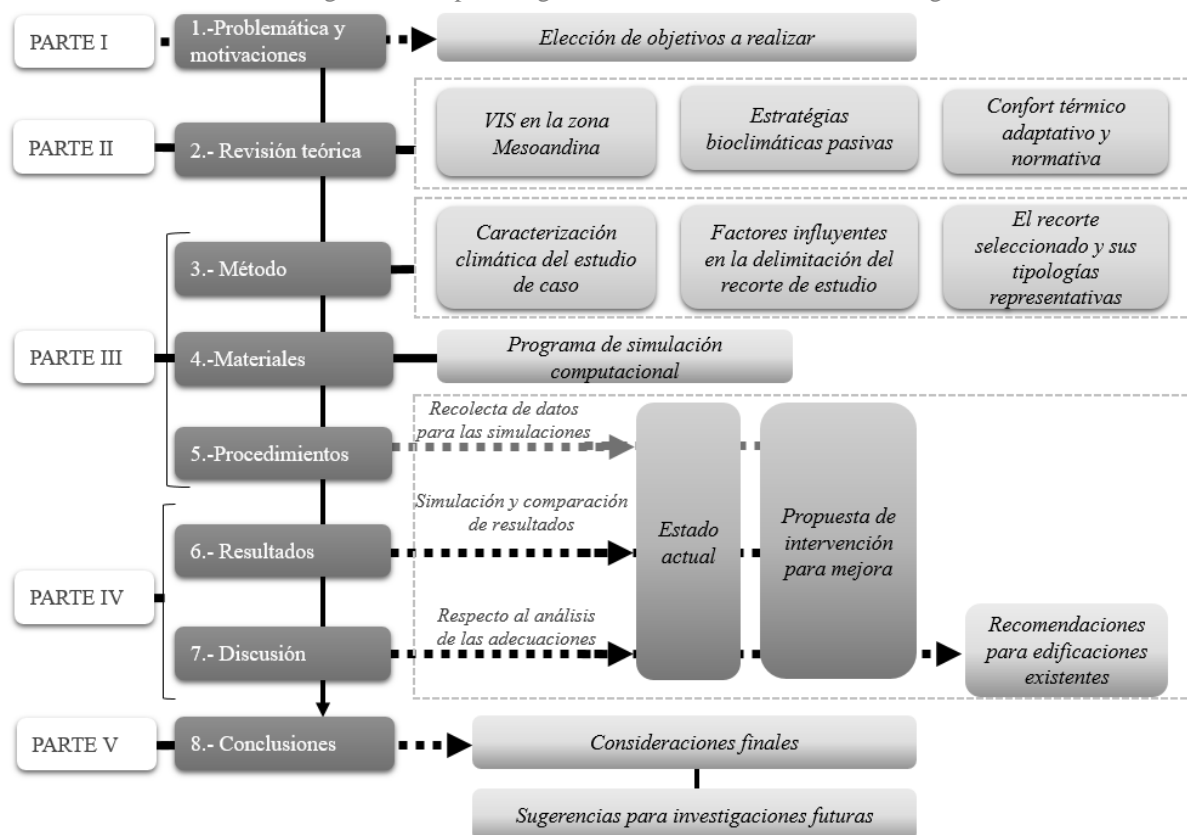
## PARTE III

### 3 Método, materiales y procedimientos

#### 3.1 Método

Esta investigación tiene una naturaleza de revisión bibliográfica, cuantitativa y comparativa, fundamentada en comprender y describir fenómenos físicos inherentes en el planteamiento de estrategias pasivas, por medio de modelos virtuales, con ayuda de simulación computacional. La definición del tema parte de una investigación de tipo exploratoria que busca comprender el escenario actual de la vivienda social en la zona Mesoandina y buscar el escenario de investigación bajo propuestas de intervención, adecuando soluciones bioclimáticas pasivas con énfasis en el estudio de clima frío. En este capítulo se describen los procesos metodológicos de la investigación, para ello se plantearon las siguientes etapas esquemáticamente presentadas en la Figura 50.

Figura 50: Etapas a seguir, definición de método de investigación



Fuente: Elaborado por la autora



Parte I (Punto 1), muestra la definición del tema y problema en sí y los aspectos más importantes que necesitan ser resueltos, así como la elección de objetivos.

La Parte II (El Punto 2) refleja las etapas realizadas en la revisión teórica que consistió en un levantamiento bibliográfico de artículos científicos, manuales, libros, etc. referentes a la vivienda de interés social en la zona Mesoandina peruana, estudios referentes a las estrategias bioclimáticas pasivas, así como el confort térmico adaptativo y la normativa existente lo que permitió dar una visión general en la que se encuentra el tema.

Parte III (Los Puntos 3,4 y 5) comprende la investigación en sí del problema y el método al experimento investigativo para la definición del método y procedimientos de la investigación incluyendo un reconocimiento primeramente de la caracterización climática del estudio de caso como son la temperatura, humedad, los vientos dominantes, la precipitación, carta estereográfica, etc., seguido por los factores influyentes en la delimitación del recorte de estudio, pasando al recorte seleccionado y la elección de las tipologías representativas.

Parte IV (los Puntos 6 y 7), detalla los resultados y discusión que implica la recolección de datos para realizar las simulaciones tanto para el estado actual como para las propuestas de mejora empleando como material el programa *Design Builder 6.1* que permite trabajar con datos meteorológicos y realizar los gráficos para las principales variables que influyen en el diseño bioclimático. Concluyendo el ítem con la mejor alternativa, en la discusión se comparará lo desarrollado para luego hacer algunas recomendaciones para edificaciones existentes con las mismas cualidades de las tipologías propuestas.

Parte V (Punto 8), se finaliza con las conclusiones de la investigación, haciendo sugerencias para investigaciones futuras.

### 3.1.1 Caracterización climática del estudio de caso

La presente investigación toma como estudio de caso a la ciudad de Puno, capital del departamento de Puno, ubicada al Sureste del Perú. Posee 71.999 km<sup>2</sup>, que representa el 5,6% de la superficie nacional, incluyendo 14,5 km<sup>2</sup> del área insular lacustre de islas y 4996.28 km<sup>2</sup> del lago perteneciente al lado peruano, está conformado por 13 provincias y 109 distritos, con coordenadas geográficas 13°00'00" y 17°17'17" Latitud Sur 71°06'57" y 68°48'56" Longitud Oeste del meridiano de Greenwich.

El clima en la ciudad de Puno toma protagonismo por la Cordillera de los Andes. Véase la Figura 51, factor de gran importancia en el microclima, por las modificaciones altitudinales, al encontrarse en el trópico, sería definido como un clima tropical de altura.

Figura 51: Los Andes desde el espacio de día

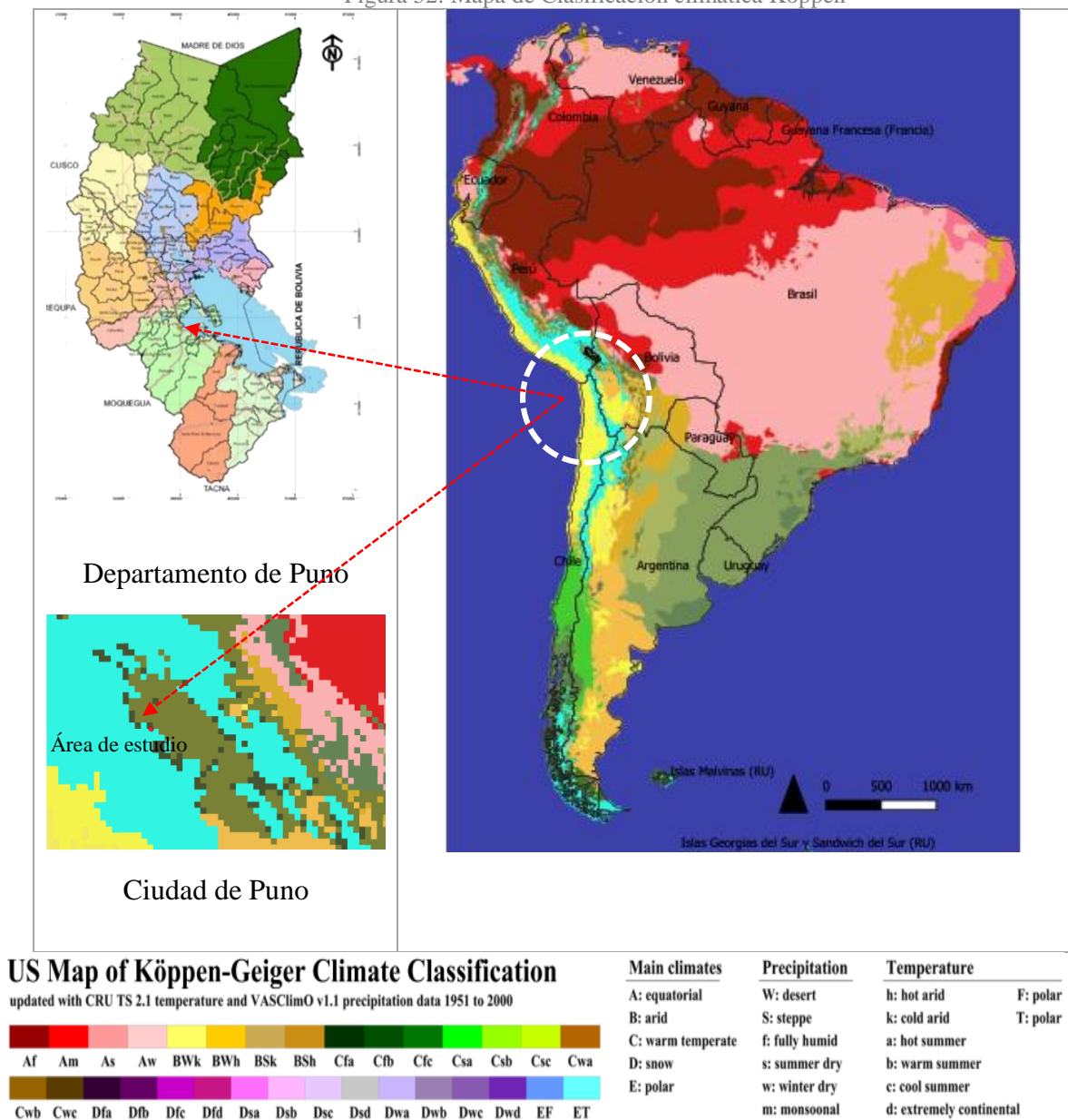


Fuente: (THE DECOLONIAL ATLAS, 2018)

#### a) Clasificación climática según Koppen

Según Neila (2004, p.17): “No existe una única clasificación de los climas, más bien existen innumerables formas de clasificación basadas en criterios y objetivos diferentes” y propone una clasificación climática organizada temáticamente en once. Para esta investigación se tomará la clasificación biogeográfica Koppen (1884) la que divide los climas en tropical, subtropical, templado, húmedo frío y polar. La zona de estudio está catalogada según esta clasificación como un clima ET-Polar Figura 52.

Figura 52: Mapa de Clasificación climática Köppen

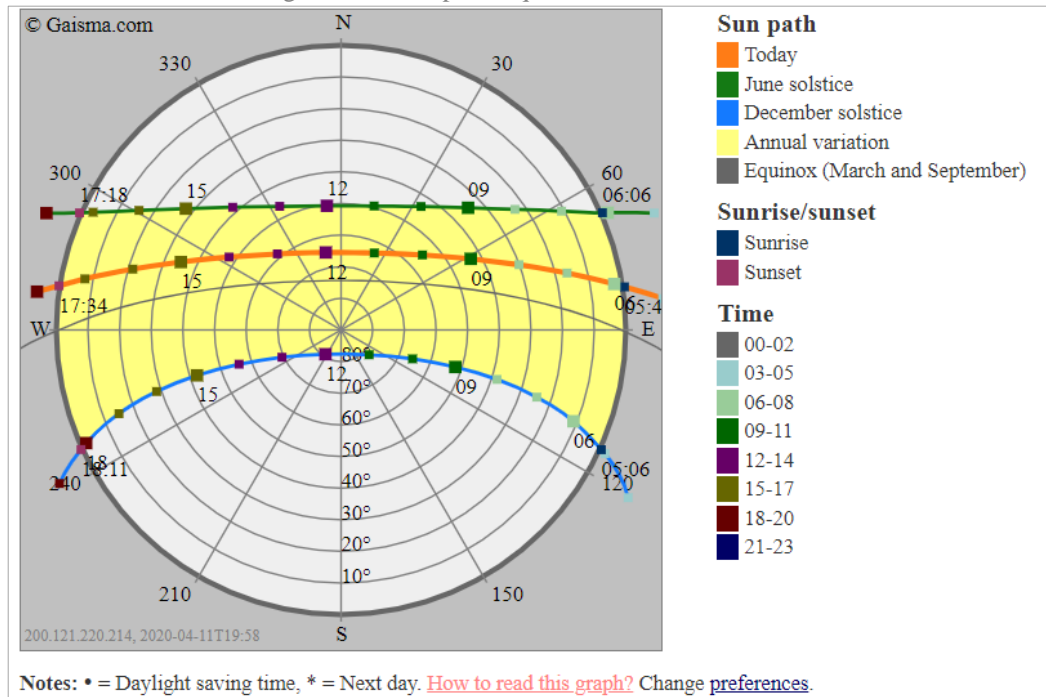


Fuente: Elaborado por la autora, basado en (GROUP, 2019)

### b) Carta polar equidistante y psicrométrica

La carta polar equidistante de la ciudad de Puno, Figura 53, muestra el recorrido solar a lo largo del año. El recurso solar en esta zona es abundante, sobre esto, Horn (2006 *Apud* SILVA LINDO *et al*, 2017) sostiene que: “[...] es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio peruano, en la gran mayoría de localidades del Perú, por lo que es viable y estratégico la utilización de esta”.

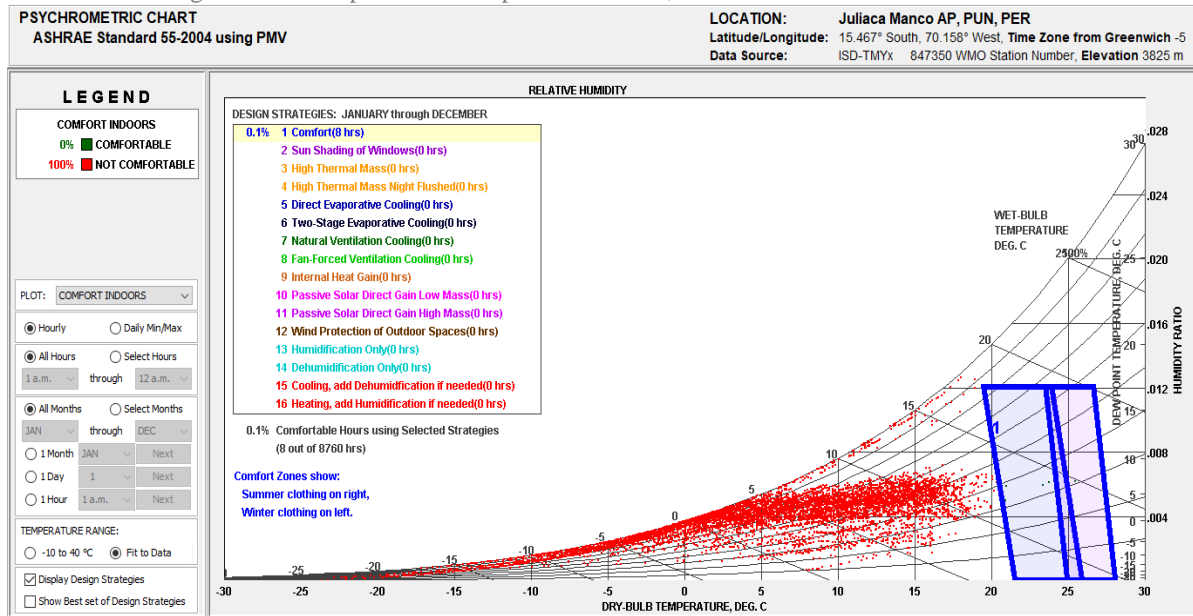
Figura 53: Carta polar equidistante de la ciudad de Puno



Fuente: (GAISMA, 2021)

La carta psicrométrica para la ciudad de Puno, por medio del programa *Climate consultant* permitió reflejar estos datos donde se observa que de enero a diciembre la cantidad de horas de confort es de 0,1%. Véase la Figura 54:

Figura 54: Carta psicrométrica para Puno-Perú, ASHRAE Standard 55-2004 usando PMV



Fuente: Captura de pantalla del programa *Climate consultant 6.0*

### c) Temperatura y humedad

En la ciudad de Puno, los veranos son cortos y nublados, los inviernos fríos y mayormente despejados, está seco durante todo el año siendo los meses más secos julio y agosto, la media de la humedad anual es de 52,12%.

La temperatura generalmente varía de -2,3 °C como la mínima, a 17,2 °C como máxima. La Figura 55 muestra los datos históricos de 30 años desde el año 1982 al 2012. La temperatura media más baja se da en el mes de julio con 5,9 °C y la más alta se da en el mes de noviembre con 9,8 °C.

Figura 55: Tabla climática, datos históricos desde 1982 al 2012

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	9.7	9.6	9.2	8.7	7.5	6.1	5.9	6.9	8.2	9.5	9.8	9.7
Temperatura min. (°C)	3.7	3.9	3.4	2.1	0.3	-2	-2.3	-1.4	0.6	1.8	2.4	3.3
Temperatura máx. (°C)	15.8	15.3	15	15.3	14.7	14.3	14.2	15.3	15.9	17.2	17.2	16.2
Precipitación (mm)	150	145	124	42	11	3	3	8	28	33	50	99

Fuente: (CLIMATE-DATA, 2020)

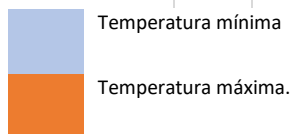
Contrastando con los datos de temperatura y humedad del año 2019. Véase la Tabla 22. De acuerdo al servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI):

La temperatura varía de -2,0 °C como la mínima, a 19,6 °C como máxima. La temperatura media más baja se da en el mes de julio con 7,1 °C y la más alta se da en el mes de diciembre con 10,8 °C. Se observa por lo tanto que las tomas más recientes de los datos climatológicos para esta zona la temperatura exterior media de bulbo seco es cerca de 2 °C más alta que los datos históricos de 1982-2012.

Tabla 22: Síntesis de los datos climáticos 2019

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Temperatura mediana (°C)	11,7	10,3	10,4	9,9	8,7	7,7	7,1	8,1	9,8	10,2	10,2	10,8
Temperatura min. (°C)	8,8	5,3	0,0	0,0	0,0	-0,6	-2,0	-1,5	1,5	0,0	3,01	5,3
Temperatura máx. (°C)	15,9	17,9	17,4	16,8	19,6	16,9	18,9	17,3	18,5	18,7	18,0	18,0

Humedad (mediana)	%	67	68	65	61	42	38	36	33	49	48	58,5	60
Velocidad vientos (mediana)	de	105	2.3	2.2	1.8	0	1.7	1.8	1.9	2.3	2.4	2.7	2.6

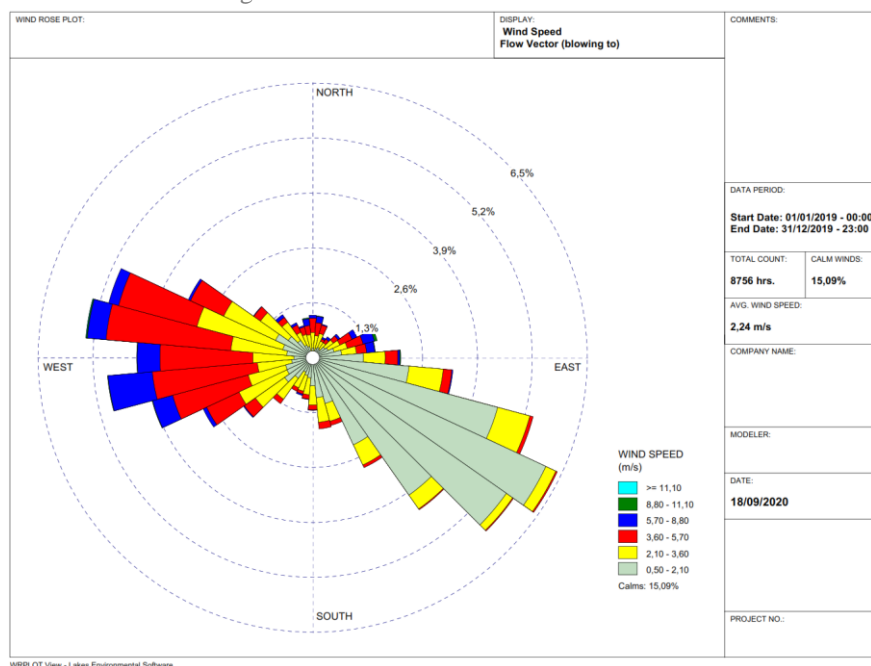


Fuente: Elaborado por la autora de acuerdo a los datos del SENAMHI

#### d) Vientos dominantes y precipitación

**Vientos:** Los vientos dominantes provienen de los lados Oeste y Sureste con un promedio de 2,24 m/s.

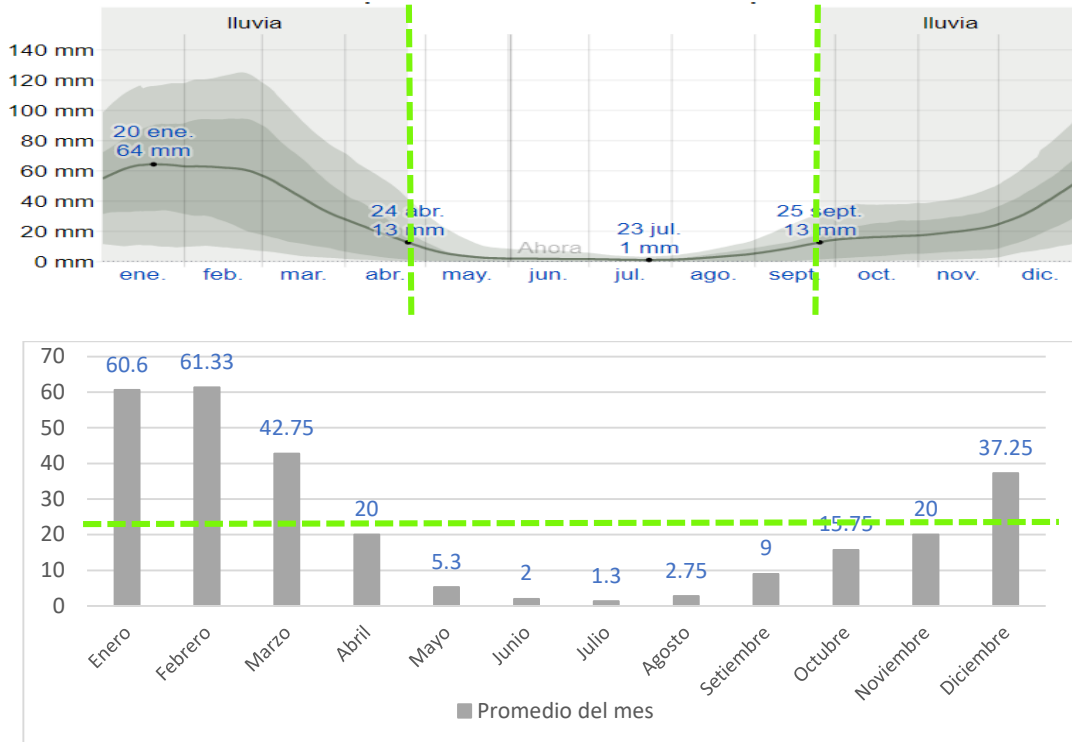
Figura 56: Rosa de los vientos del año 2019



Fuente: (LAKES ENVIRONMENTAL, 2018)

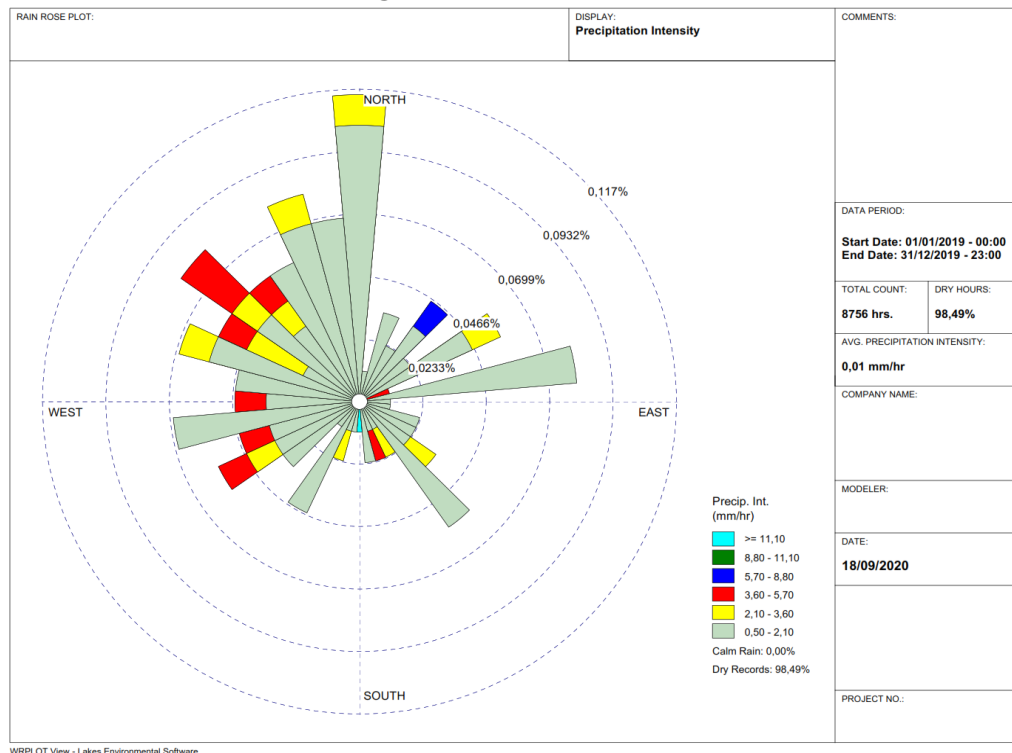
**Precipitación:** La temporada de lluvia dura 7 meses (25 de septiembre al 24 de abril), La mayoría de la lluvia cae en enero, con una acumulación total promedio de 64 milímetros. El periodo del año sin lluvia dura 5 meses (24 de abril al 25 de septiembre). La fecha aproximada con la menor cantidad de lluvia es el 23 de julio con una acumulación total promedio de 1 milímetros y un promedio en el año de 23,16 mm. Véase la Figura 57. También posee una intensidad de precipitación de 0,01 mm/h proveniente del lado Norte. Véase la Figura 58:

Figura 57: Temporada de lluvia - precipitación en lluvia mensual promedio



Fuente: (WEATHER SPARK, 2019)

Figura 58: Rosa de lluvia del año 2019



Fuente: (LAKES ENVIRONMENTAL, 2018)



### 3.1.2 Factores influyentes en la delimitación del recorte de estudio

En este apartado se busca definir el recorte del estudio de caso (Ciudad de Puno) en la para ello se consideró tres factores:

-El lago Titicaca, el cual es el más grande de América del Sur y se encuentra en la zona Mesoandina (3.000 a 4.000 m.s.n.m.).

-Nivel altitudinal en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) de los poblados más extensos y cercanos al Lago Titicaca con VIS.

-VIS a nivel urbano.

***Para definir los factores se detalla la técnica usada por teledetección:*** Los estudios e investigaciones de clima urbano se valen de este método (teledetección o sensoramiento), el cual permite encontrar información de objetos y fenómenos en la superficie a través de la radiación electromagnética, es una forma de energía que se propaga mediante ondas que se desplazan por el espacio a la velocidad de la luz (300.000 km/s) transportando cantidades discretas de energía. Estas ondas se caracterizan por tener longitudes mayores de un metro. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro magnético, la misma que es captada por un satélite, quien interpreta a través de un espectro electromagnético y lo transforma a imagen, está conformada por bandas, en el caso de las imágenes satelitales (Landsat 8<sup>2</sup> conformada por 11 bandas espectrales).

En el método de la teledetección la combinación de bandas es lo que permite obtener información de espacio y tiempo, el medio más efectivo por el cual los datos multiespectrales se pueden representar para formular algoritmos para el análisis cuantitativo es trazarlos en un espacio de patrón, o espacio vectorial multiespectral, con tantas dimensiones como componentes espectrales. “[...] En este espacio, cada píxel de una imagen se traza como un punto con coordenadas dadas por el valor de brillo del píxel en cada componente” (RICHARDS, 2006, p. 75, traducción nuestra).

La teledetección es una técnica en la cual se utilizan algoritmos para obtener información de objetos, fenómenos que se encuentran en la superficie terrestre, para ello se

---

<sup>2</sup> Imagen satelital Landsat 8, son obtenidas por el sensor (OLI) y (TIRS) y constan de 11 bandas espectrales. (ARIZA, 2013, p. 9).



usan métodos según lo requerido. En esta investigación se utilizó para el cálculo de la temperatura de la superficie.

**Teledetección para temperatura de superficie:** Según Voogt *et al.*(2002, p. 370) “[...] la teledetección térmica se ha utilizado sobre áreas urbanas para evaluar el calor urbano”, además, en su estudio de sensoramiento remoto aplicado al clima urbano indica que “para realizar clasificaciones de cobertura del suelo y como entrada para modelos de intercambio de atmósfera de superficie urbana.” A través de QGIS3 y la calculadora ráster se aplicó las siguientes ecuaciones para obtener la temperatura de la superficie en grados centígrados (la combinación de las bandas es lo que proporciona dicha información). Según USGS<sup>4</sup> (2019), en el artículo “*Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data*”, consistente en 5 ecuaciones para la obtención de LST (Land Surface Temperature). Ampliada en el (ANEXO 2).

#### **a) El lago Titicaca**

El Lago Titicaca se encuentra en Sudamérica entre los territorios de Perú y Bolivia véase la Figura 59, es el lago navegable más alto del mundo. Ubicado en la zona Mesoandina de los Andes centrales, dentro de la meseta del Collao, a una altitud media de 3.812 m.s.n.m.

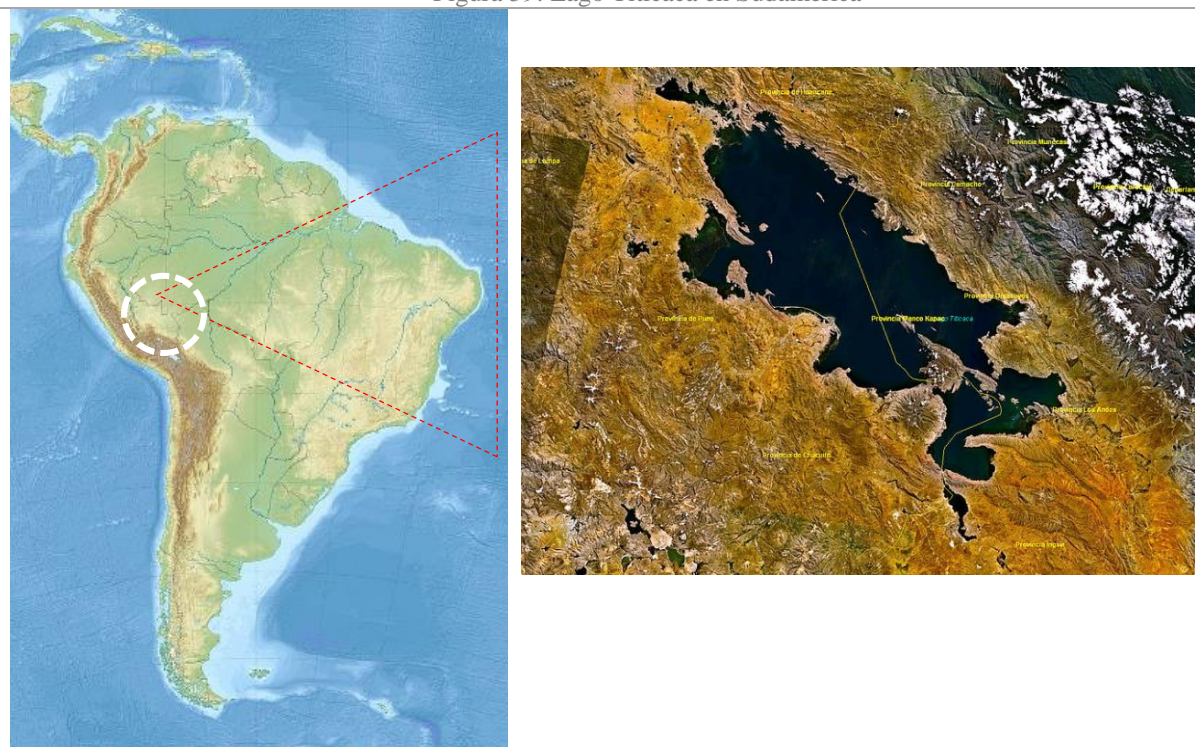
Posee un área de 8.300 km<sup>2</sup> de los cuales el 56 % (4.996 km<sup>2</sup>) corresponden a Perú y el 44 % (3.304 km<sup>2</sup>) a Bolivia y 1.125 km de costa; su profundidad máxima se estima en 281 m y se calcula su profundidad media en 107 m. Su nivel es irregular y aumenta durante el verano austral.

---

<sup>3</sup> QGIS, es un Sistema de Información Geográfica de software libre y de código abierto para plataformas GNU/Linux, Unix, Mac OS, Microsoft Windows y Android.

<sup>4</sup> USGS, Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés, es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Los científicos de la USGS estudian el terreno, los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan.

Figura 59: Lago Titicaca en Sudamérica



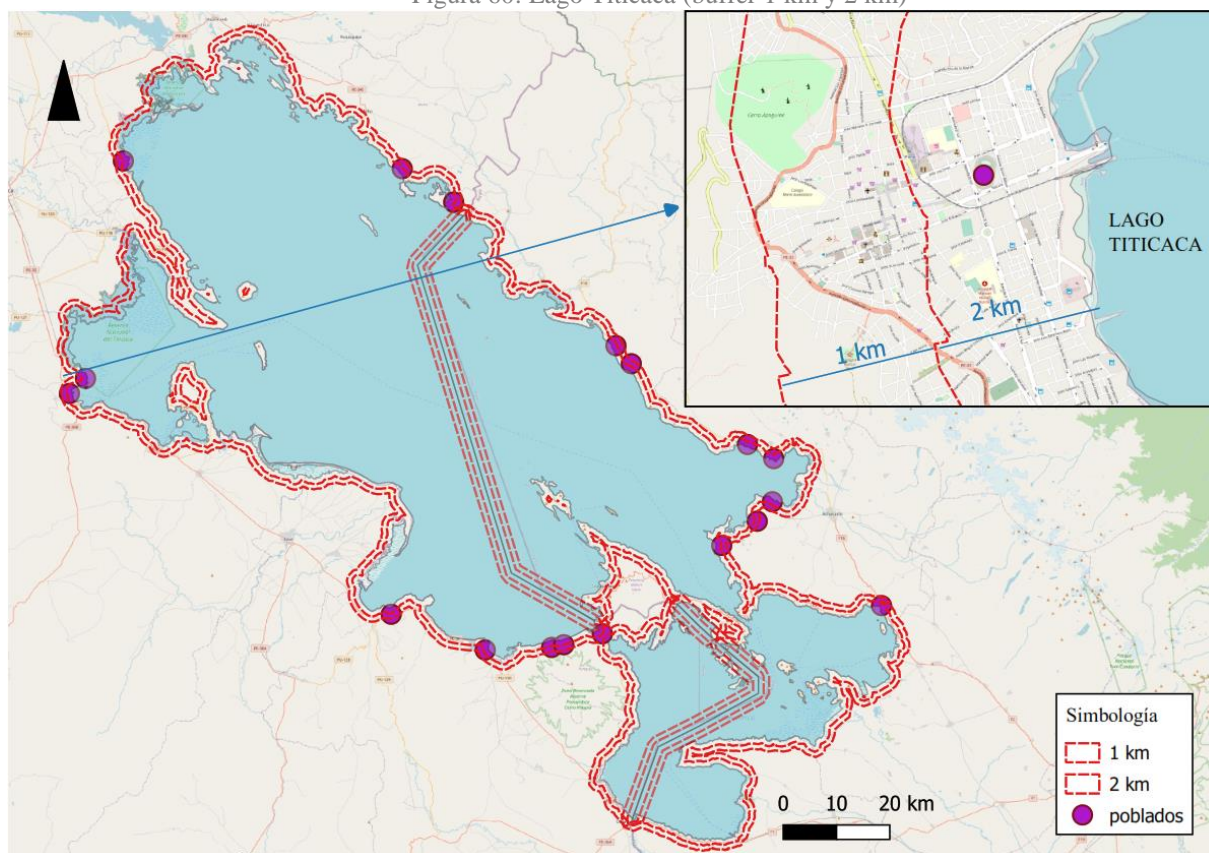
Fuente: (USGS, 2019)

### **b) Nivel altitudinal y el poblado más extenso y cercano a la zona circunlacustre**

En esta parte se busca determinar los poblados con nivel altitudinal perteneciente a la zona Mesoandina además de determinar el más extenso y cercano a la franja circunlacustre, puesto que la cercanía a este gran cuerpo de agua influye en el confort térmico de las viviendas, debido a la extensión (8.135 km<sup>2</sup>) que tiene el Lago Titicaca, que medido de Norte a Sur (122 km) y de este a oeste (60 km) aproximadamente.

Para ello se realizó un buffer de 1 km y 2 km de la línea costera. En la franja de 1 km se observó que existen 15 poblados y en la franja de 2 km existen 3 poblados correspondientes al nivel altitudinal de la zona Mesoandina, de los cuales se concluye que el más extenso y poblado es la Ciudad del Puno Figura 60.

Figura 60: Lago Titicaca (buffer 1 km y 2 km)



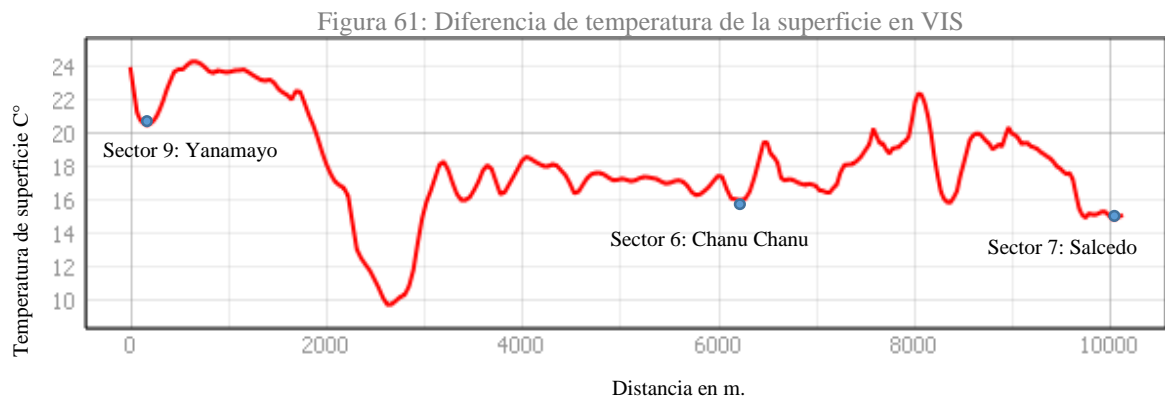
Fuente: Extraído de (USGS, 2019), procesado con QGIS

### c) VIS a nivel urbano

En el tejido urbano de la ciudad de Puno se denotan las VIS dispersas por toda la ciudad las que fueron proyectadas por ENACE y Techo Propio (Item 2.4.1-e), en donde el gobierno ha habilitado urbanizaciones por etapas en los sectores 6, 7 y 9, con núcleo en Yanamayo, Chanu Chanu y Salcedo (Figura 62).

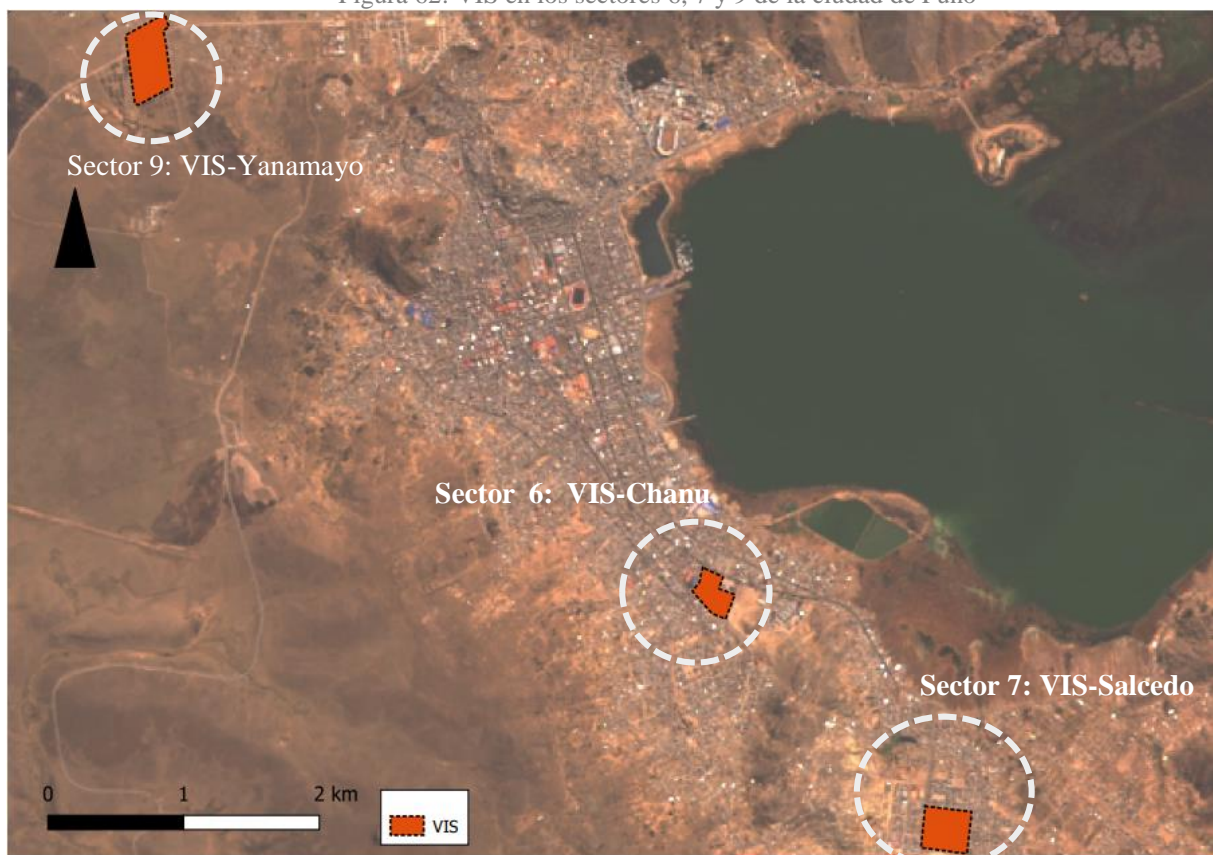
Siendo una de las intenciones de este trabajo conocer el comportamiento del confort térmico en un clima ET característico de la zona Mesoandina, se procedió a determinar cuál de los conjuntos habitacionales de VIS posee la temperatura de superficie más baja, tomando el mes más frío del año (Julio), siendo calculada el día 16 de julio 2019, 9:40:55. Usando también la técnica de teledetección, por medio del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2019) Landsat 8 OLI/ TIRS C2 L1. En la Figura 61, se muestra la diferencia de temperatura de superficie de las VIS.





Fuente: Elaborado por la autora

Figura 62: VIS en los sectores 6, 7 y 9 de la ciudad de Puno

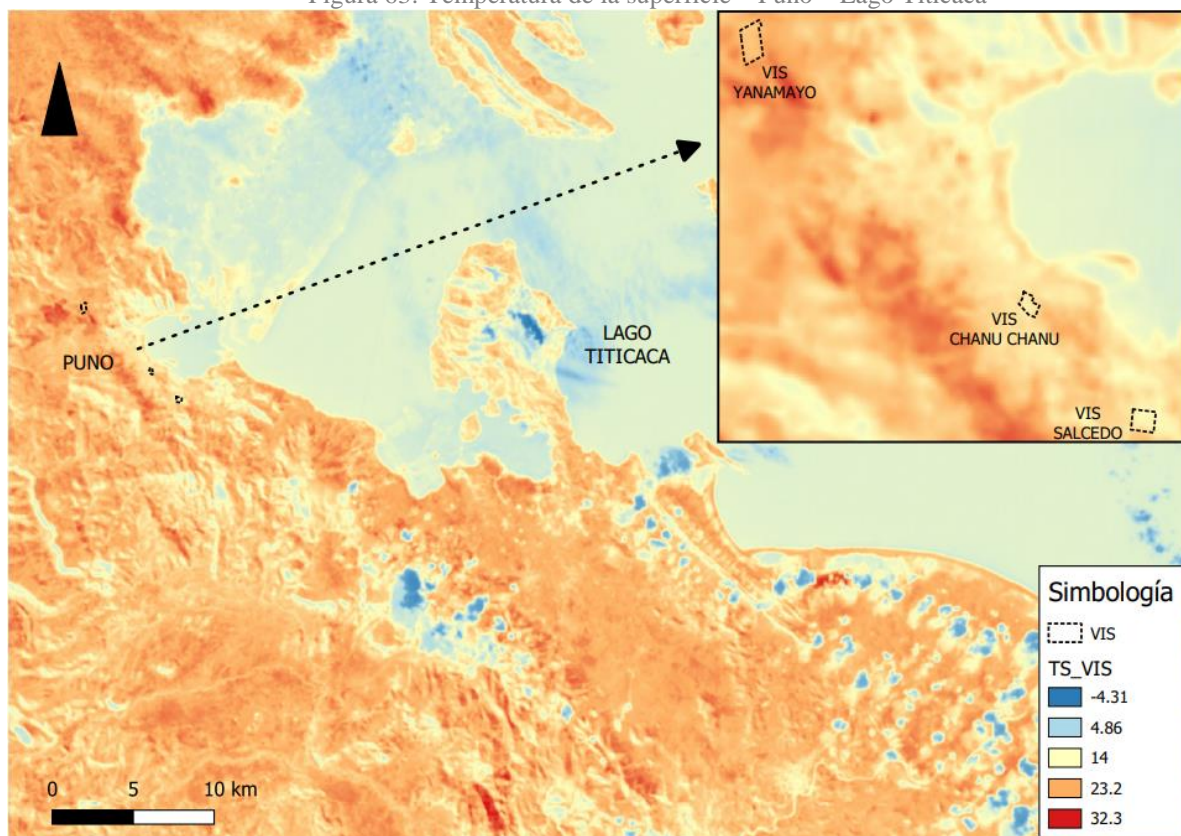


Fuente: Elaborado por la autora

Al realizar el cálculo de temperatura de superficie de los tres conjuntos habitacionales, se constata que para el día 16 de Julio del 2019 las VIS presentan temperaturas de:

- Las VIS en el sector 9, Yanamayo, 20,62 °C.
- Las VIS en el sector 6, Chanu Chanu, 15,92 °C.
- Las VIS en el sector 7, Salcedo, 14,82 °C. Ver Figura 63.

Figura 63: Temperatura de la superficie – Puno – Lago Titicaca



Fuente: Extraído de (USGS, 2019), procesado con QGIS

La zona de Salcedo presenta la menor temperatura superficial y por ende la que potencialmente podría ser la zona con el mayor desconfort térmico, por lo que se procede a tomarlo como *estudio de caso*.

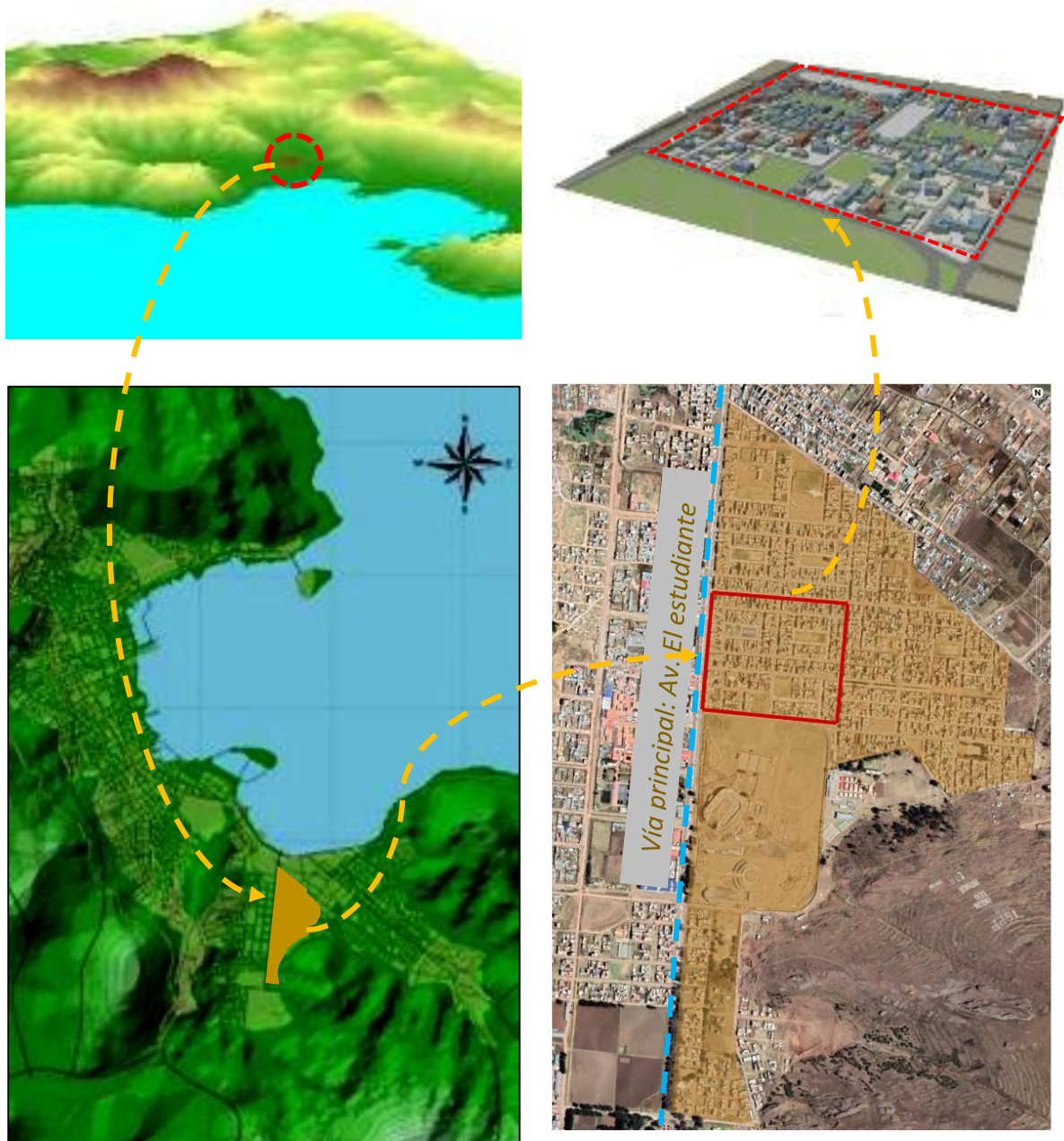
### 3.1.3 Sobre el recorte seleccionado

Para la selección del recorte se tomó como referencia el libro: “Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas” de (ROMERO et al., 2019, p. 49). El conjunto habitacional Salcedo es de trama ortogonal posee calzadas estrechas y poca área verde, se accede por una vía principal (Av. El estudiante) de mayor alimentación vehicular con actividades de equipamiento interior y pequeños comercios, véase la Figura 64. Se tuvo en cuenta los siguientes puntos:

- El área de (300 m x 300 m) Aprox.: conformado por 20 manzanas y 562 viviendas
- Incluye el patrón morfológico del sector y las dos tipologías iniciales de ENACE y Techo propio, presentadas en el histórico de la ciudad de Puno ítem 2.1.1.



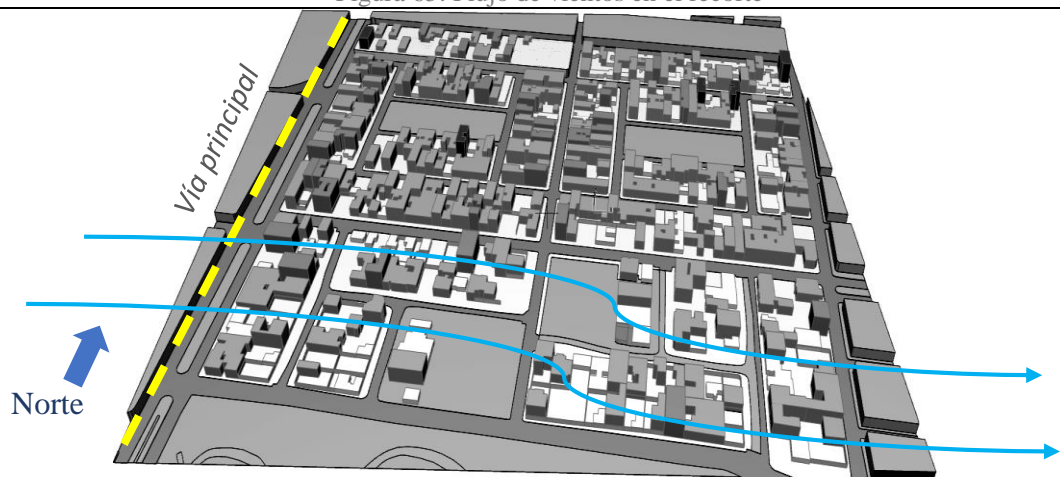
Figura 64: Recorte seleccionado en barrio Salcedo



Fuente: Google Earth 2020-fecha de imágenes 12/02/2021

Referente al flujo de los vientos dominantes en el recorte se da principalmente en la dirección Oeste – Este, Figura 65.

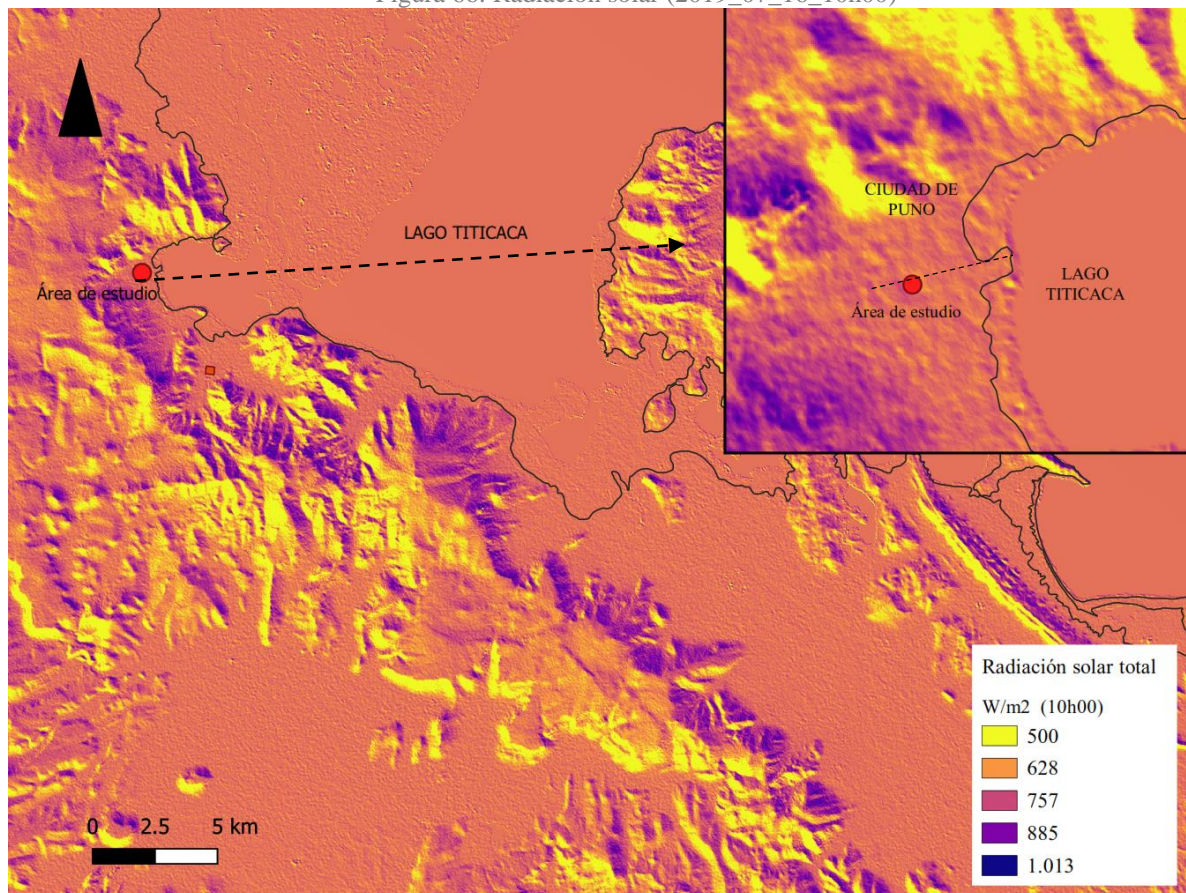
Figura 65: Flujo de vientos en el recorte



Fuente: Elaboración propia

La radiación solar en el recorte de estudio y su entorno en  $W/m^2$ , (radiación difusa y directa), se observa que el área de estudio presenta  $706 (W/m^2)$  y el Lago Titicaca  $682 (W/m^2)$ .

Figura 66: Radiación solar (2019\_07\_16\_10h00)



Fuente: Elaboración propia



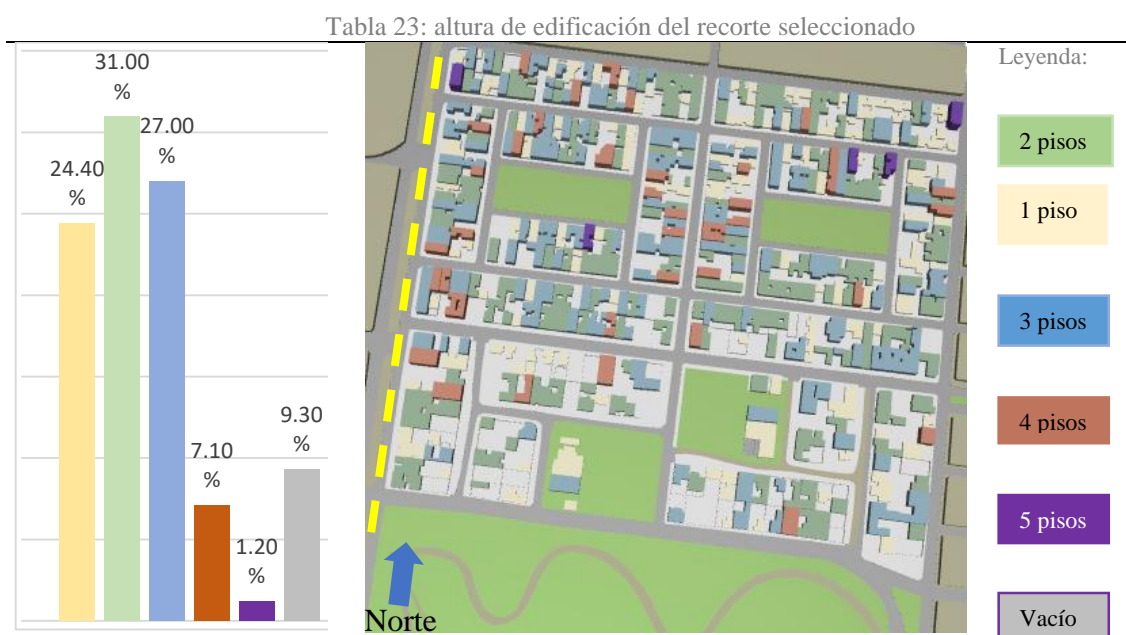
### a) Altura de las edificaciones, materiales predominantes y tipologías representativas

En esta parte se pasó a determinar las alturas de las edificaciones del recorte (el municipio no cuenta con estos datos) y materiales predominantes para asignarlas a las tipologías y caracterizarlas. Para ello se ha procedido a una exploración in loco del barrio, además de imágenes aéreas y de satélite. Durante 15 días, entre los días (20/07/2019 al 03/08/2019), se ha recorrido cada calle a pie por cada lote o parcela y se han tomado los siguientes datos:

-Fotografía: registro de altura (número de pisos), registro de los materiales del envoltorio. Para los materiales se ha contado con las informaciones de los proyectos originales obtenidos en la municipalidad, entrevistas individuales con los usuarios o inspección visual. Véase el (ANEXO 3).

-Registro: los datos obtenidos han sido registrados y tabulados, disponibles en el (ANEXO 4), a partir de los datos encontrados se ha modelado el barrio y registrado los las informaciones acerca de alturas, materiales en mapas y plantas. Correspondientes a las figuras y tablas (Tabla 23, Tabla 24, Tabla 25, Figura 67 y Figura 68):

-Altura: se concluyó que el recorte contiene viviendas que van de uno a cinco pisos, predominando la de dos niveles en un 31,0%.



Fuente: Elaboración propia



-Materiales: como se observa en la Tabla 24, se concluyó que los materiales predominantes en la envoltoria son:

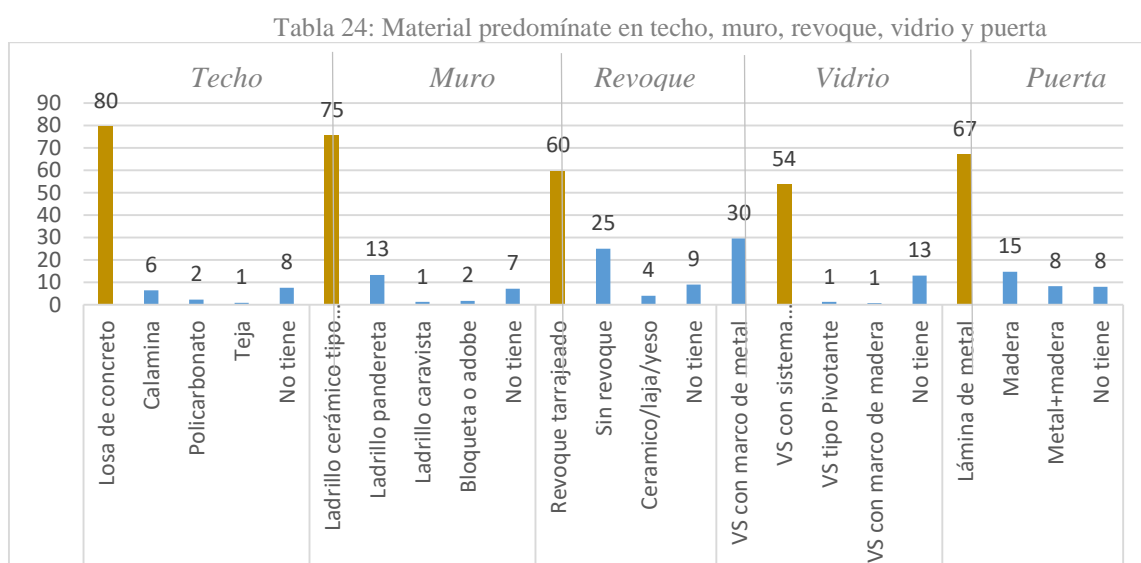
-Techo: losa de concreto, 80%.

-Muros: ladrillo cerámico tipo King Kong, 75%.

-Revestimiento en muros: revoque tarrajado, 60%.

-Acristalamiento, vidrio simple (VS) de 4 mm en sistema moduglass 54%.

-Puertas: lámina de metal, 67%.



Fuente: Elaboración propia

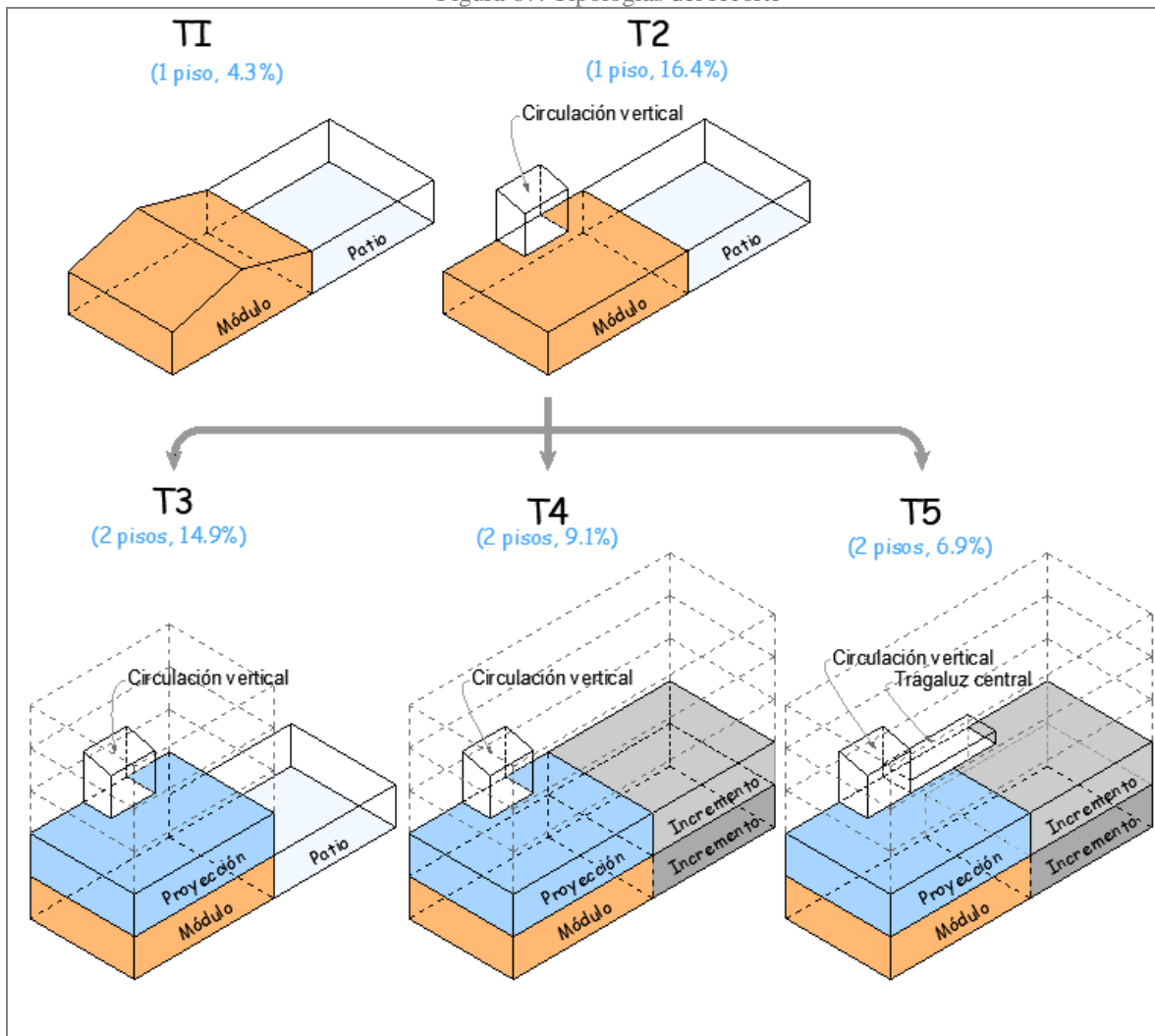
Se determinaron cinco tipologías recurrentes llamadas en adelante T1, T2, T3, T4 y T5; representan de acuerdo a la Tabla 25 el mayor porcentaje (marcadas en amarillo) conformando el 51,8% del total. Véase la Figura 67 para mayor detalle.

Tabla 25: Altura por tipología en porcentaje

T1	T2	T3				T4					T5					Vacío o cercado
1 piso	1 piso	2 pisos	3 pisos	4pisos	5 pisos	1 piso	2 pisos	3 pisos	4pisos	5 pisos	1 piso	2 pisos	3 pisos	4pisos	5 pisos	
4,3	16,4	14,9	12,3	2,7	0,5	2,1	9,1	8,5	3,0	0,5	1,6	6,9	6,2	1,4	0,2	9,3
4,3%	16,4%	30,4%				23,3%					16,4%					9,3%

Fuente: Elaboración propia

Figura 67: Tipologías del recorte



Fuente: Elaboración propia



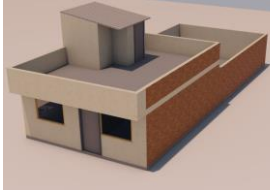

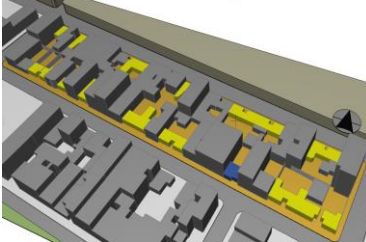
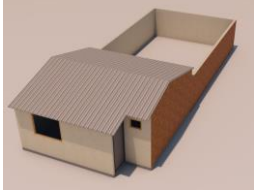




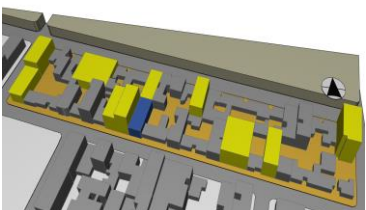


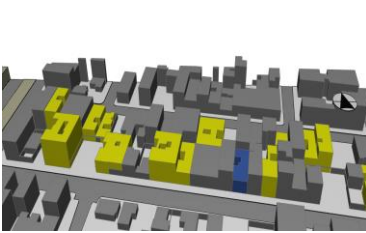
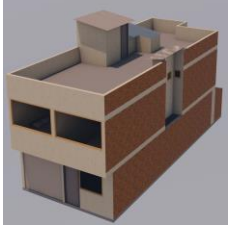
Seguidamente se eligió la vivienda para modelación con los siguientes criterios:

- Manzanas contenedora con la mayor cantidad de lotes por tipología Figura 68.
- Fachada sur, que no se encuentren en esquina debido a la preferencia en orientación.
- Colindantes con mayor altura de preferencia el contexto menos favorable.

Leyenda:

- Manzana representativa
- Viviendas según tipología
- Vivienda seleccionada para modelación

Figura 68: Selección de tipologías para modelado

	Ubicación en recorte	Manzana representativa	Tipología representativa
T1			
		Módulo tipo usado como modelo base, caracterizado por ser de un nivel, con un patio posterior, de un nivel.	
T2			
		Módulo tipo usado como modelo base, caracterizado por ser de un nivel, con un patio posterior y techo a dos aguas, de un nivel.	
T3			
		Vivienda adecuada de la tipología T1, es decir aquella vivienda base más modificaciones, caracterizada por tener un <u>patio posterior</u> , de dos niveles.	
T4			
		Vivienda adecuada de la tipología T1, caracterizada por ocupar todo el lote proveyéndose de iluminación por medio de la caja de escaleras, <u>vivienda compacta</u> , de dos niveles.	
T5			
		Vivienda adecuada de la tipología T1, caracterizada por ocupar todo el lote proveyéndose de iluminación por medio de la caja de escaleras y tragaluz, una <u>vivienda compacta con un tragaluz central</u> , de dos niveles.	

Fuente: Elaboración propia

## **3.2 Materiales**

Este ítem explica los recursos usados para la ejecución de la investigación de las simulaciones termoenergéticas, siendo una investigación de tipo experimental por medio del recurso de simulación computacional, es el programa que se describe a continuación.

### **3.2.1 Programa de simulación computacional**

La presente investigación usa el programa *Design Builder versión 6.1.0*, para la realización de las simulaciones de desempeño termoenergético. Este software es ampliamente usado es un programa estrictamente de simulación dadas sus ventajas para el modelado tridimensional y su amplia biblioteca de materiales y configuraciones ya definidas, con el motor de simulación *EnergyPlus versión 8.9*, desarrollado por el departamento de energía de los estados unidos (U.S. DOE, por sus siglas en inglés), opera con datos reales de temperatura, presión, radiación solar, del sitio donde se realiza el estudio. Será empleado en esta investigación pues permite visualizar los resultados de diferentes aspectos energéticos del edificio, como las ganancias térmicas solares, ganancias internas, confort térmico, infiltraciones, además de que estos pueden ser visualizados en perdidos de tiempo anual, mensual, diario, horario y sub horario.

## **3.3 Procedimientos**

Los pasos metodológicos que presentan en este ítem muestran la última etapa del método. Se detalla la aplicación de la metodología de acuerdo al ASHRAE 55-2017 por medio del porcentual de horas ocupadas en confort (POC), configuraciones básicas, los parámetros para la simulación del estado actual y las propuestas de intervención para las tipologías elegidas.

### **3.3.1 Criterios para evaluación del confort térmico por medio del porcentual de horas ocupadas en confort (POC)**

La metodología empleada pretende investigar el confort térmico por medio del porcentual de horas ocupadas en confort (POC) de acuerdo al ASHRAE 55-2017 al 80% de aceptabilidad por tratarse de un clima frío y tener un mayor rango de temperatura, con (+/- 3,5 °C). Para el análisis del desempeño térmico fueron usados los datos de TO y temperatura de aire externa (TE) de bulbo seco, de aquellos ambientes de uso prolongado:

- Dormitorio en fachada Sur
- Dormitorio en fachada Norte
- Ambiente de uso múltiple o sala comedor

La ASHRAE 55 (2017) en la sección 7.4.2.2.1 indica que: “[...] las horas que exceden los límites superior e inferior deben ser designadas con un valor de “0” (cero) y aquellas que se encuentren dentro del límite “1”, y las que estén fuera de los límites la sumatoria resultara el número de horas en disconfort del año”. Bajo esta premisa se obtuvo el rango aceptable anual y del día típico:

-Rango aceptable anual, se tomó la media de la (TE) de los siete días anteriores para cada día del año (8.760 horas), una vez obtenidas las temperaturas máximas y mínimas de aceptación para el 80% de los usuarios, se calculó el POC para (horas en confort) o disconfort límite máximo (calor) y el límite mínimo (frío). La Tabla 26 indica el rango aceptable en función de la TE.

Tabla 26: Rango de temperaturas interiores aceptables anualmente

Rango aceptable de temperaturas				
Mes	TE(°C)	Límite superior	Confort	Límite inferior
Anual	5,80	23,10	19,60	16,10

Fuente: Elaboración propia

-Rango aceptable para el día típico del mes más frío de invierno (julio), se promedió cada hora del mes de julio (744 horas) para establecer el rango aceptable representativo del mes. Véase la Tabla 27.

Tabla 27: Rango de temperaturas interiores aceptables para el día típico de invierno

Rango aceptable de temperatura				
Mes	TE(°C)	Límite superior	Confort	Límite inferior
Julio	1,22	21,70	18,20	14,70

Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar este método según el estándar ASHRAE 55-2017, no puede ser aplicada en localidades donde la temperatura externa mínima sea menor de 10 °C o en que la temperatura máxima sea mayor que 33,5 °C. Pese a ello se la ha tomado como referente, en ausencia de estándares más adecuados para estos climas

### 3.3.2 Parámetros para la simulación en su estado actual

Los parámetros para la simulación se ingresaron de forma jerárquica delimitado por exteriores (vecinos) e interiores (zonas térmicas) de las tipologías escogidas con las características de cerramientos de la envolvente. Para la elaboración del modelo en Design builder se importaron los archivos CAD, seguidamente se ingresó la plantilla de datos climáticos en formato “EPW” extraído de: (ONEBUILDING, 2020), para la ciudad de Juliaca siendo la única fuente confiable para el departamento de Puno.

#### a) Zonas térmicas

Se modelaron y simularon todas las zonas térmicas para cada tipología, sin embargo, solo exhibirán aquellas coincidentes con los ambientes de permanencia prolongada (resaltados en amarillo en la Tabla 28).

Tabla 28: Zonas térmicas y ambientes

Pisos	T1	T2	T3	T4	T5
Primer nivel	Ambiente múltiple	Ambiente múltiple	Sala-comedor	Sala-comedor	Sala-comedor
	W.C.	W.C.	W.C.	W.C.	W.C.
	Patio	Patio	Patio	Patio	Patio
		Cocina	Cocina	Cocina	Cocina
		Pasillo y circulación vertical	Pasillo y circulación vertical	Pasillo y circulación vertical	Pasillo y circulación vertical
			Garaje	Dormitorio de huéspedes	
			Estudio		
Segundo nivel			Dormitorio Norte	Dormitorio Norte	Dormitorio Norte
			Dormitorio Sur	Dormitorio Sur	Dormitorio Sur
			Dormitorio doble	Dormitorio doble	Dormitorio doble
			Dormitorio simple)	Dormitorio simple)	Dormitorio simple
			W.C.	W.C.	W.C.
			Deposito	Deposito	Deposito
Total de zonas térmicas	3	5	13	12	11

Fuente: Elaboración propia

#### b) Caracterización de las tipologías elegidas

A continuación, se detallan las características formales de la envoltoria tales como;

-Proporción de áreas de paredes, aberturas y la relación S/V (Tabla 29).

-Detalles de las plantas, cortes, diagrama solar, modelo 3D y foto representativa de las VIS. Véase la (Tabla 30, Tabla 31, Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34).

Tabla 29: Áreas de paredes y aberturas de las tipologías seleccionadas

T1	Total	Envoltoria			
		N	S	E	O
Pared externa (m2)	68,8	15,8	16,2	18,4	18,4
Abertura (m2)	4,2	2,1	2,1	0,0	0,0
<b>Relación S/V*: 0.36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup></b>					
T2	Total	Envoltoria			
		N	S	E	O
Pared externa (m2)	87,6	20,9	20,9	22,3	23,4
Abertura (m2)	6,5	2,3	4,2	0,0	0,0
<b>Relación S/V*: 0.37 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup></b>					
T3	Total	Envoltoria			
		N	S	E	O
Pared externa (m2)	187,5	35,1	35,2	58,1	59,2
Abertura (m2)	15,61	8,3	7,2	0,0	0,0
<b>Relación S/V*: 0.19 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup></b>					
T4	Total	Envoltoria			
		N	S	E	O
Pared externa (m2)	222,93	32,6	36,40	74,91	78,9
Abertura (m2)	13,78	3,7	8,4	1,64	0,0
<b>Relación S/V*: 0.24 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup></b>					
T5	Total	Envoltoria			
		N	S	E	O
Pared externa (m2)	251,2	36,2	37,1	88,11	89,79
Abertura (m2)	17,26	1,89	13,59	1,78	0,0
<b>Relación S/V*: 0.22 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup></b>					

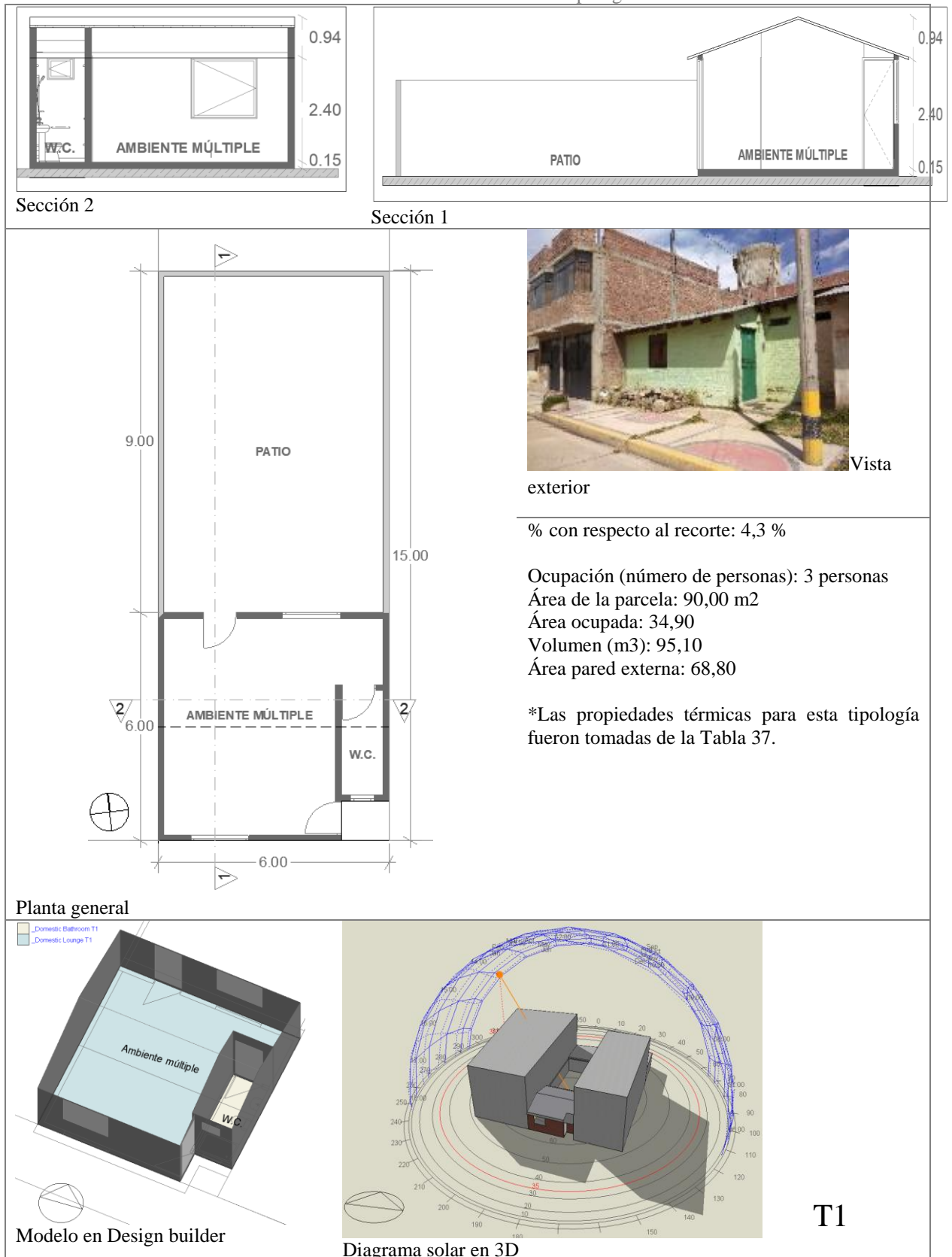
\*Área de piso/volumen

Fuente: Elaboración propia

Al ser viviendas de forma rectangular las mayores áreas de pared se dan en las caras Este y Oeste: en las tipologías T1, T2 y T3 no se observa ninguna abertura en estas caras, solamente en la T4 y T5, la predominancia en aberturas se da en las caras norte y sur. Respecto a la relación superficie/volumen (S/V) de todos los casos se encuentran en una relación recomendable que va de 0 a 0,4.



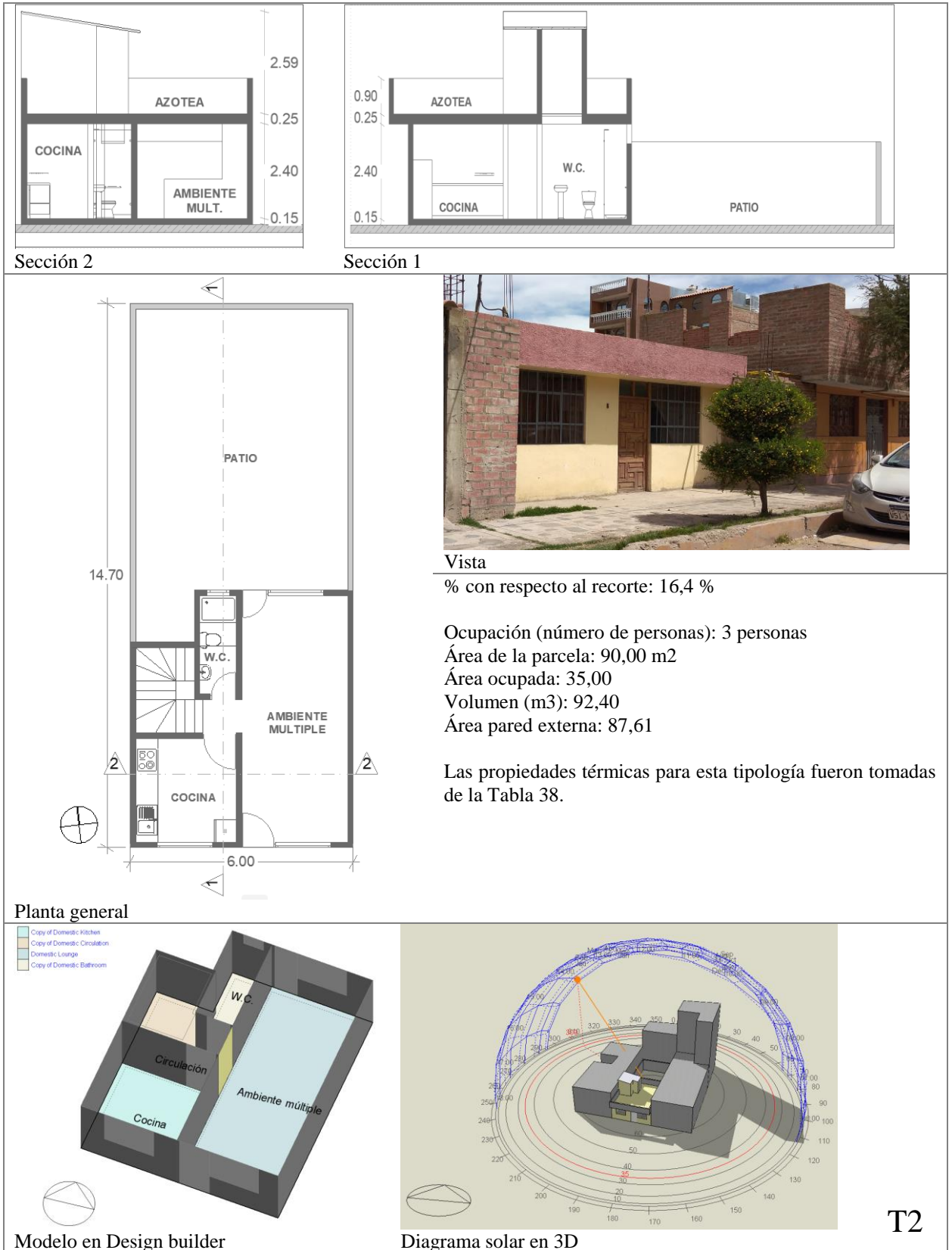
Tabla 30: Caracterización de la tipología – T1



Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Caracterización de la tipología – T2

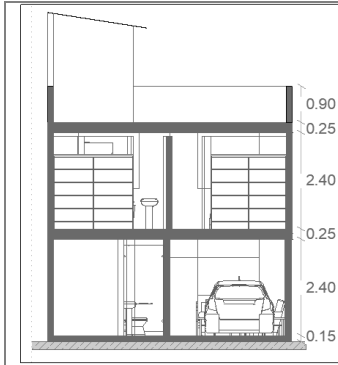




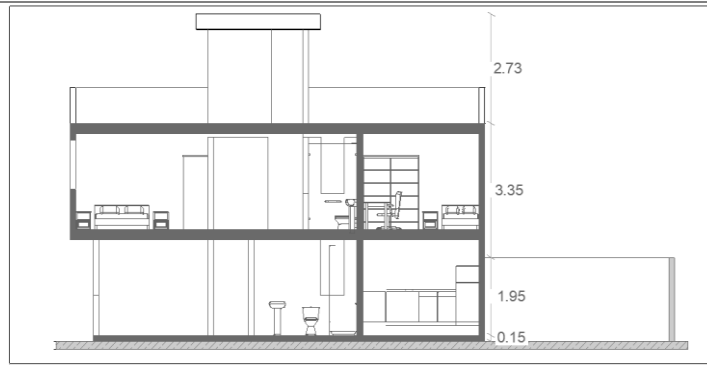
T2

Fuente: Elaboración propia

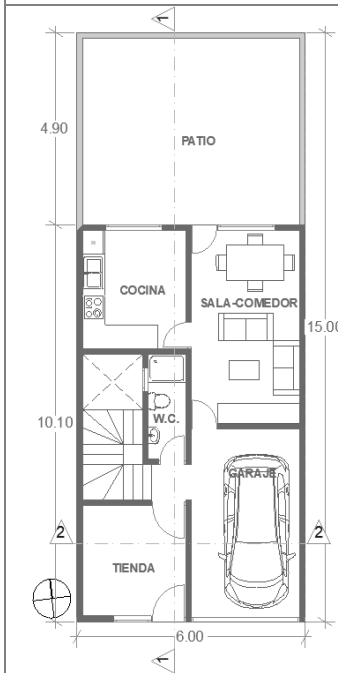
Tabla 32: Caracterización de la tipología – T3



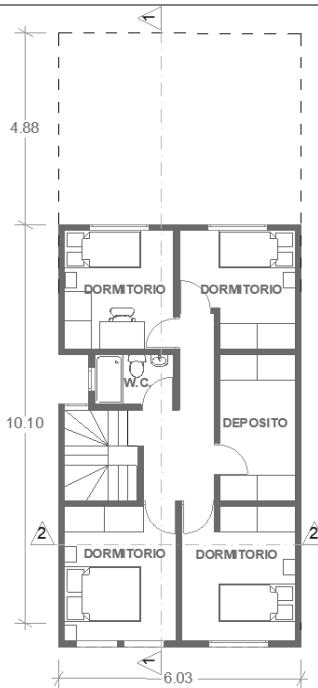
Sección 2



Sección 1



Primer nivel

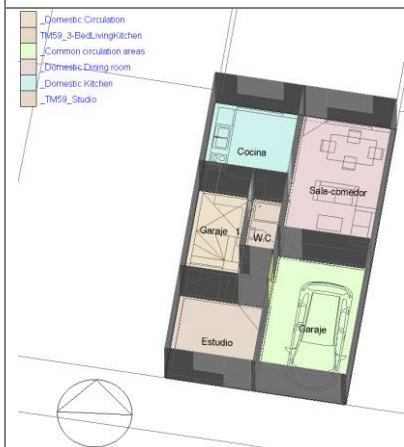


Segundo nivel



Vista

% con respecto al recorte: 30,4 %  
 Ocupación (número de personas): 5 personas  
 Área de la parcela: 90 m<sup>2</sup>  
 Área ocupada: 103,6  
 Volumen (m<sup>3</sup>): 268,3  
 Área pared externa: 187,5  
 Área techo: 64,35  
 -Las propiedades térmicas para esta tipología fueron tomadas de la Tabla 38.



Modelo en Design builder

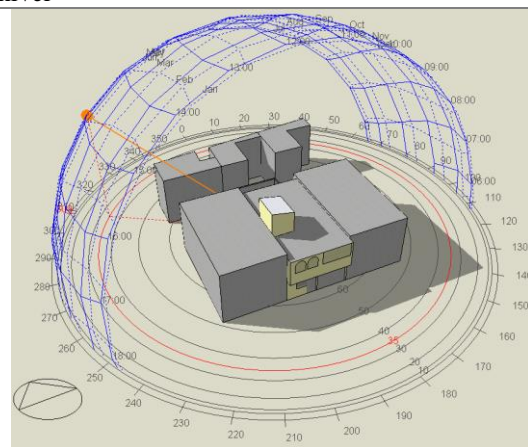
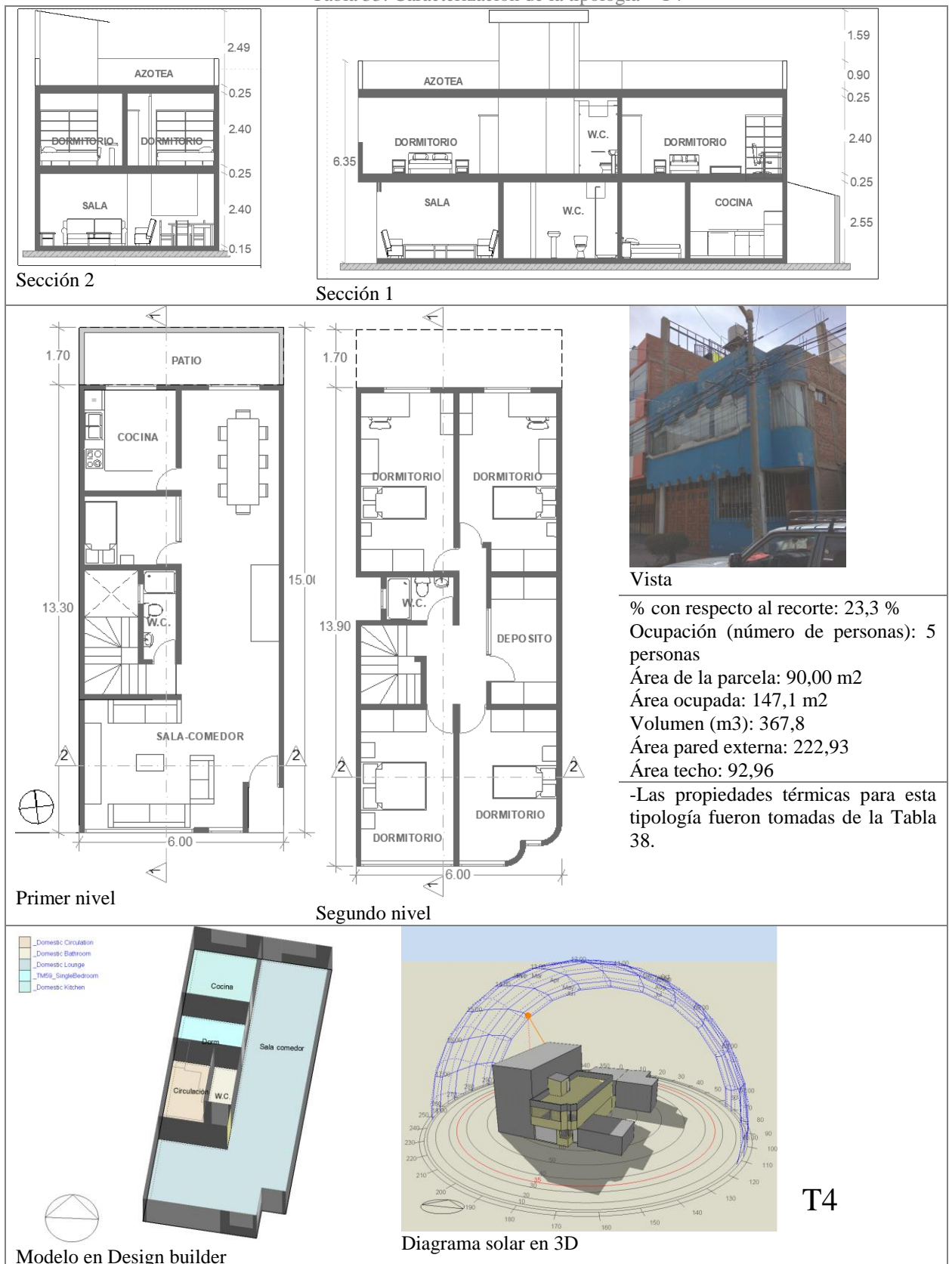


Diagrama solar en 3D

T3

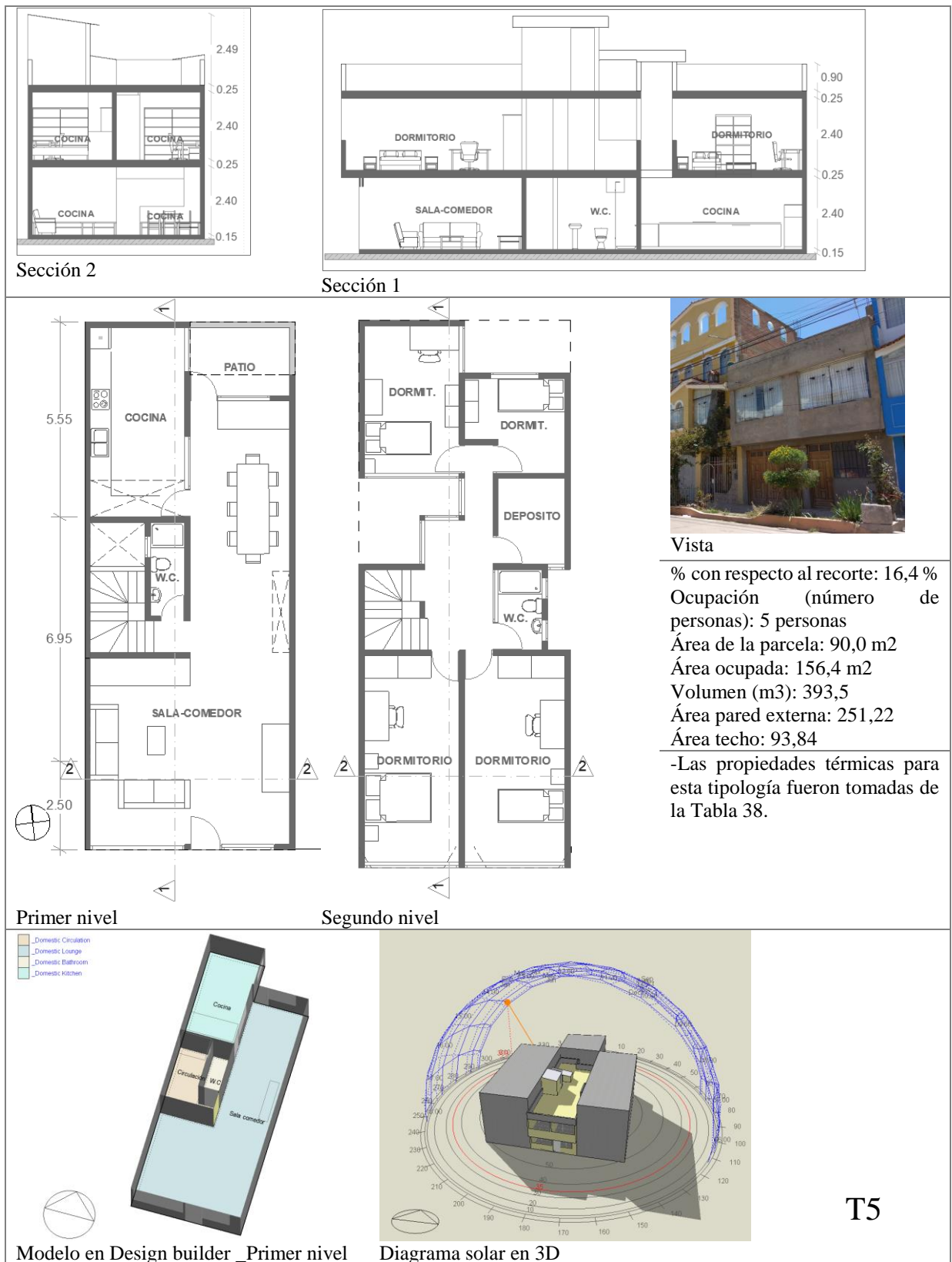
Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Caracterización de la tipología – T4



Fuente: Elaboración propia

Tabla 34: Caracterización de la tipología – T5



% con respecto al recorte: 16,4 %  
 Ocupación (número de personas): 5 personas  
 Área de la parcela: 90,0 m<sup>2</sup>  
 Área ocupada: 156,4 m<sup>2</sup>  
 Volumen (m<sup>3</sup>): 393,5  
 Área pared externa: 251,22  
 Área techo: 93,84

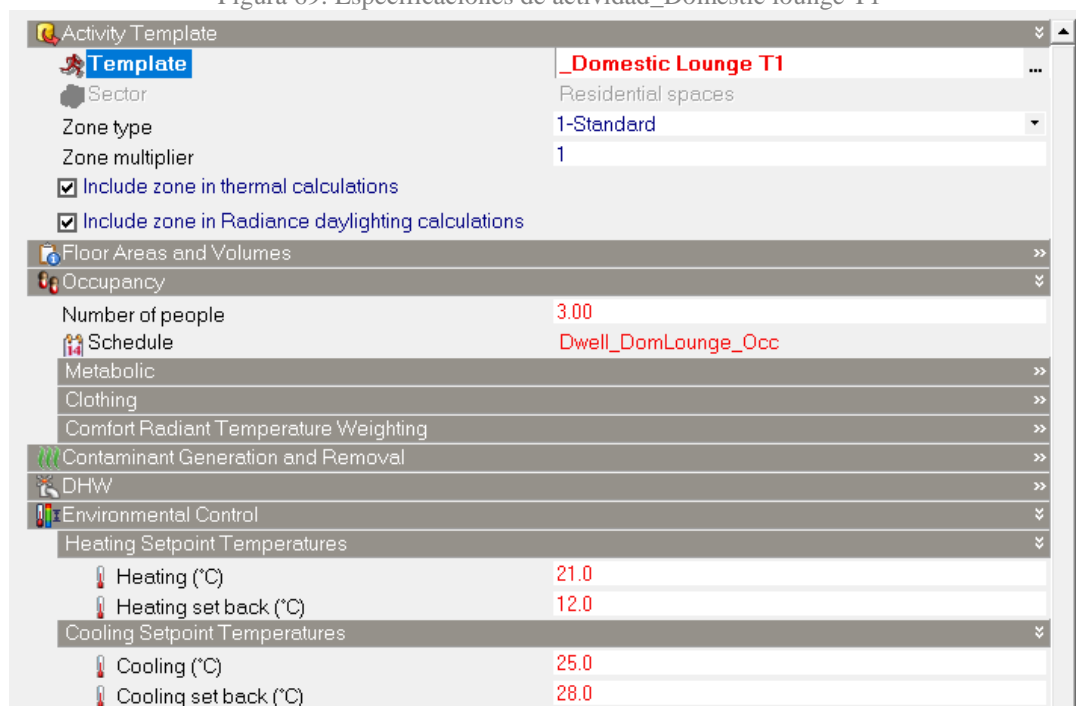
-Las propiedades térmicas para esta tipología fueron tomadas de la Tabla 38.

### 3.3.3 Configuraciones básicas para las simulaciones

**Ocupación y actividades metabólicas:** el programa establece especificaciones de uso y actividad del proyecto. Por lo que se tomó la planilla de edificación residencial (Residential spaces), un factor de actividad de 1,0 MET, 1,0 CLO como unidad de vestimenta en invierno y verano, ocupación se establece de acuerdo al cálculo de densidad habitacional en función de los dormitorios como indica el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú, Norma A020 Art 5. En la Figura 69 y Figura 70 se observa la configuración de ocupación en las plantillas del programa.

**T1:** Ocupación de 3 (tres) usuarios, durante todo el día, puesto que es un ambiente donde se realizan las actividades de cocina, dormitorio y sala comedor.

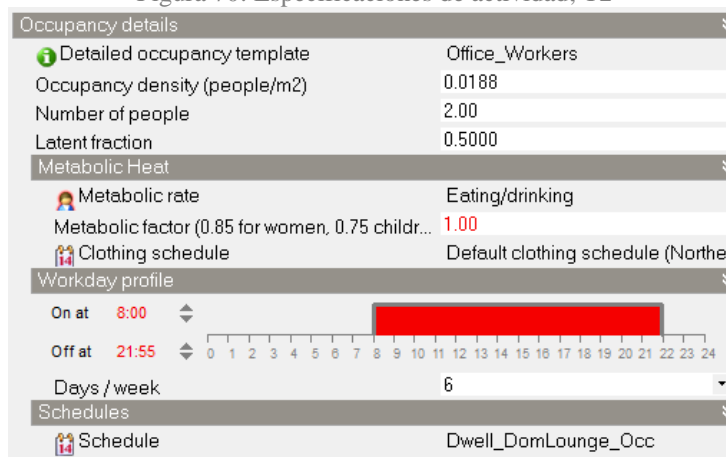
Figura 69: Especificaciones de actividad\_Domestic lounge T1



Fuente: Captura de pantalla del programa *Design builder*

**T2:** Ocupación de 3 (tres) usuarios, la cocina 8:00h a 22:00 h de 1 (una) persona, el ambiente múltiple de 8:00 h a 22:00 h con 2 (dos) personas. Ver Figura 70.

Figura 70: Especificaciones de actividad, T2



Fuente: Captura de pantalla del programa *Design builder*

Las demás tipologías (T3, T4 y T5), mantienen una ocupación de 5 (cinco) personas.

**Cargas internas:** los artefactos coinciden con el uso doméstico con ausencia de equipos de climatización, se ejemplifica un estimado para la T1, para la cocina y refrigeradora siendo esta usada durante todo el día. Las demás plantillas fueron tomadas de la biblioteca del programa. En el (ANEXO 5) se muestra de forma más detallada para las tipologías (T2, T3, T4 y T5).

Tabla 35: Estimado de consumo de energía de los equipamientos-T1

Plantilla	Equipamientos	Ambiente	Equipo	Fracción radiante	Potencia (Watts)	Área	W/m2	Periodo (Horas diarias)	Potencia mensual total (Wh)
_Domestic lounge	Catering	Ambiente múltiple	Cocina a gas LPG	0,2	87,45	30,97	2,82	24	62.964
	Office	Ambiente. Múltiple	Refrigeradora	0,2	85	30,97	2,74	24	61.200
	Computer	Ambiente Múltiple	Televisor	0,2	120	30,97	3,87	4	14.400
	Computer	Ambiente Múltiple	Computador	0,2	400	30,97	12,92	4	48.000
									186.564
Total mensual (KWh)									186,564
Total anual									2.238,768

Fuente: Elaboración propia

**Iluminación:** Se optó por adoptar el valor por defecto de las plantillas del programa de 6 W/m<sup>2</sup> para el ambiente múltiple, sala-comedor y 5 W/m<sup>2</sup> para los dormitorios en todos los casos.

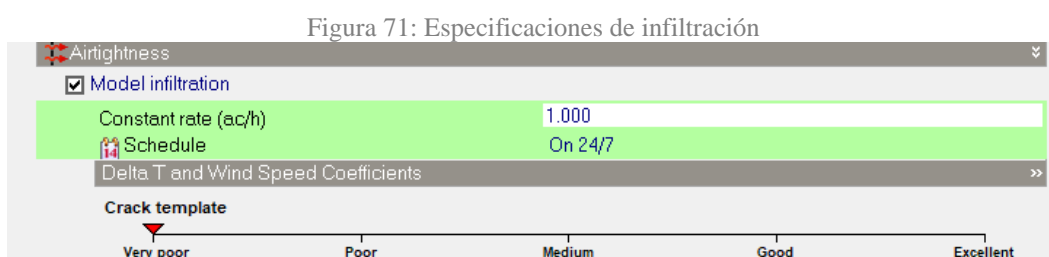


**Ventilación:** Se configuró la ventilación natural calculada pues permite calcular tasas de flujo basado en el tamaño, configuración, posición y orientación de las aberturas del edificio, así como minuto a minuto las condiciones del aire, velocidad de viento, presión, entre otras. En lo referente a las infiltraciones se activan solo en el caso de que se desee simular aberturas que dejen pasar el aire.

**Infiltraciones:** Se encontraron algunas referencias en relación a las infiltraciones que indican distintas mediciones de hermeticidad al aire para la obtención de estos valores es necesario el uso del método estandarizado de presurización (Blower Door), un sistema de determinación que permite cuantificar el caudal de aire que fluye a través de la envolvente de un recinto:

- Según Wegertseder *et al* (2015 apud Figueroa *et al*, 2013) sugieren valores que fluctúan entre 1,75 ACH para una vivienda de albañilería.
- Un estudio realizado para la ciudad de Juliaca en Puno – Perú, refiere que “[...] en los climas más fríos la ventilación estará limitada al mínimo requerido, permitiendo únicamente una infiltración que asegure una renovación de un cambio de aire por hora”.(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019, p. 8). Esto en referencia al mínimo requerido por la vivienda.
- Según (GARCILÓPEZ; JIMÉNEZ, 2010, p. 3) “[...] El CTE HE 1 en su apartado 2.3 sugiere 2.64 ren/h (594m<sup>3</sup>/h) dependiendo de la configuración y superficie de la vivienda”. Para una hermeticidad al aire alta se sugiere una tasa de infiltración de 0.6 ren/h a 50Pa (16.74m<sup>3</sup>/h), que es el valor fijado para una Passivhaus.
- La Calificación Energética (CE) Chilena según refiere: Wegertseder *et al* (2015, p. 7), recomienda 1 AC/ H como tasa.

En referencia a estos valores se optó por realizar la configuración básica con 1,0 renovaciones por hora (AC/h). Para las simulaciones de las tipologías en su estado actual con un Crack templete (grietas) “very poor.



Fuente: Captura de pantalla del programa *Design builder*

**Puertas y ventanas:** Puertas externas de metal e internas de madera, presentes en la biblioteca del programa. Acristalamiento simple de 4 mm de transmisión solar SHGC=0,847, transmisión de luz=0,816, U=5,871 con carpintería de aluminio, con % de área abierta<sup>5</sup> al 10%, tanto para ventanas interiores como exteriores, (Figura 72).

Figura 72: Especificaciones de acristalamiento

Glazing	
Layers	Calculated
Calculated Values	
Total solar transmission (SHGC)	0.847
Direct solar transmission	0.816
Light transmission	0.892
U-value (ISO 10292/ EN 673) (W/m2-K)	5.806
<b>U-Value (W/m2-K)</b>	<b>5.871</b>

Fuente: Captura de pantalla del programa *Design builder*

### a) Propiedades térmicas

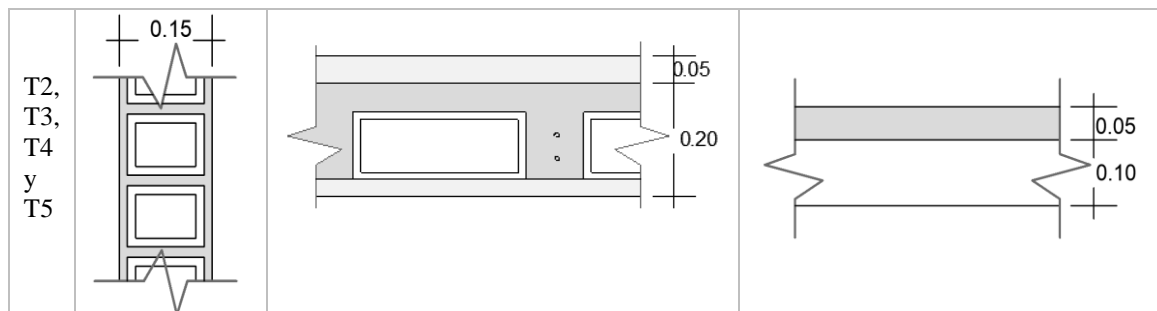
Se hizo la revisión de las propiedades térmicas de los materiales para composición en techo, muro y pisos tomando como referencia de diversos trabajos y valores con cualidades similares (ANEXO 6). Teniendo en cuenta que las tipologías a simular tienen muros perimetrales de 0,13 para la T1 y 0,15 cm para la T2, T3, T4 y T5. La composición en techo en cobertura metálica en acero galvanizado “calamina” y un techo de concreto armado, en pisos en todos los casos un piso de concreto.

Tabla 36: Composición del muro, techo y piso

	Composición muro	Composición techo	Composición piso
T1		 cobertura metálica en acero galvanizado “calamina”	

<sup>5</sup> % AREA ABIERTA, es el porcentaje de la ventana que se abre para dejar pasar el aire.





Fuente: Elaboración propia en base al (ANEXO 6)

Tabla 37: Propiedades térmicas de la tipología T1

Componente	Composición	E (mm)	Conductividad	Densidad	Calor específico	Valor R	Valor U
			$\lambda$ w/m.K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (J/kgK)	R (m <sup>2</sup> k/W)	U (W/m <sup>2</sup> k)
<b>Muro:</b> Espesor total: 13.75cm	Enlucido interno	12,5	0,72	1.860	1.200	-	2,30
	Ladrillo hueco tipo King Kong	125	0,47	1.045	800		
<b>Techo:</b> Espesor total 3 mm	Calamina	6	45	7.680	420	-	7,27
<b>Piso:</b> Espesor total 15cm	Concreto	100	1,75	2.200	1.000	0,06	3,81
	Contrapiso	50	1,15	2.000	1.000	0,04	

Fuente: Elaboración propia en base al (ANEXO 6)

Tabla 38: Propiedades térmicas de las tipologías T2,T3,T4 y T5

Componente	Composición	E (mm)	Conductividad	Densidad	Calor específico	Valor R	Valor U
			$\lambda$ w/m.K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (J/kgK)	R (m <sup>2</sup> k/W)	U (W/m <sup>2</sup> k)
<b>Muro:</b> Espesor total: 15cm	Enlucido interno	12,5	0,72	1.860	1.200	-	2,22
	Ladrillo hueco tipo King Kong	125	0,47	1.045	800		
	Enlucido externo	12,5	0,72	1.860	1.200		
<b>Techo (Entrepiso):</b> Espesor total 25cm	Contrapiso	50	1,15	2.000	1.000	0,0435	1,72
	Losa de concreto	50	1,15	2.000	1.000	0,0286	
	Ladrillo hueco de techo	120	0,44	720	800	-	
	Enlucido de yeso	30	0,35	900	870	0,0084	
<b>Piso:</b> Espesor total 15cm	Concreto	100	1,75	2.200	1.000	0,06	3,81
	Contrapiso	50	1,15	2.000	1.000	0,04	

Fuente: Elaboración propia en base al (ANEXO 6)

## **PARTE IV**

### **4 Resultados y discusión**

#### **4.1 Resultados del estado actual**

Esta parte muestra los resultados de las simulaciones para el periodo de 1 año del estado actual para los ambientes de permanencia prolongada (ambiente múltiple o sala comedor, dormitorio Norte y dormitorio Sur). Se presentaran a seguir los resultados completos y detallados para la Tipología 1 (T1) a modo de ejemplificación, para las demás tipologías se presentan los resultados sintetizados en la Tabla 39, siendo que los resultados detallados pueden encontrarse en el (ANEXO 7).

##### **4.1.1 Tipología T1 (T1)**

Para este caso se obtuvo que hay disconfort por frio del ambiente múltiple en un 76.2% y 23.6% de confort anual. No se ha observado disconfort por calor.

-La TO, siendo la más baja en el mes de julio con 9,0 °C véase la Figura 73, además de una humedad relativa entre 33,39% y 51,95% durante todo el año.

-Las pérdidas de calor de la envoltoria y ventilación (Fabric and ventilation), mostradas en la Figura 74 se dan principalmente a través del techo (Roofs), las paredes externas y la ventilación natural exterior (External air), las renovaciones de aire por hora quedan entre 0,96 y 1,32 AC/h.

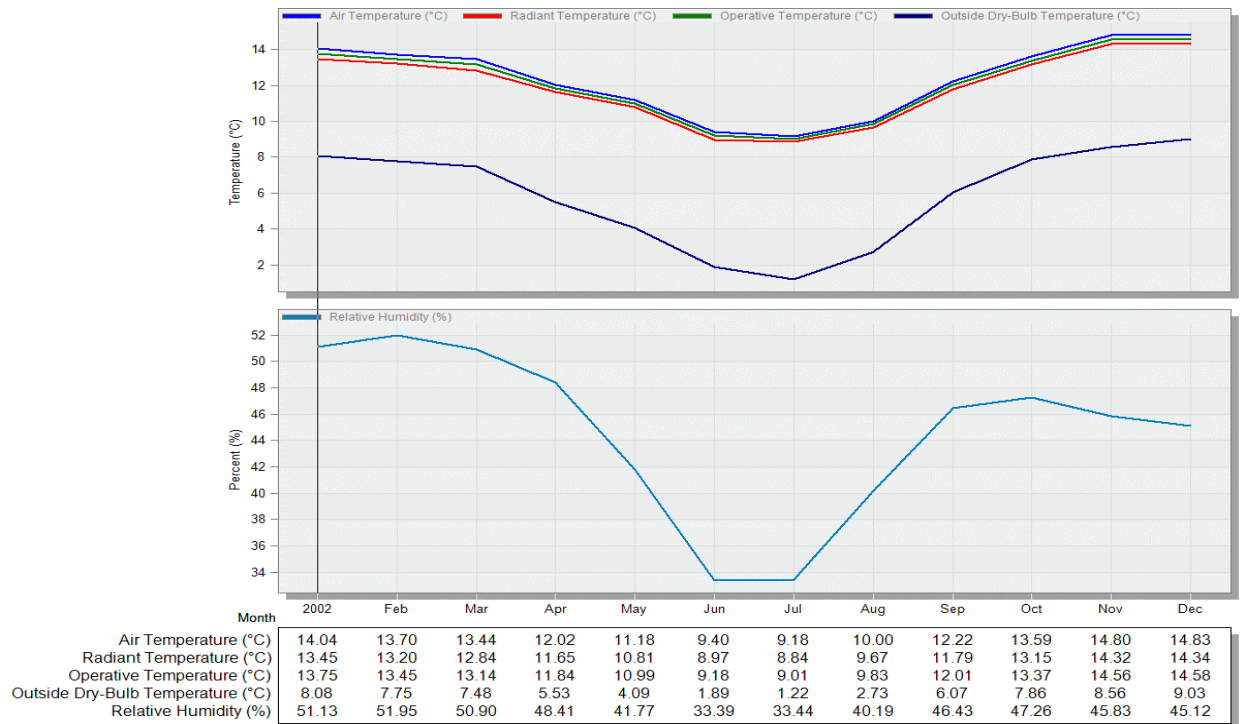
-Ganancias internas, (Figura 75), por el funcionamiento de la cocina influyen de forma favorable en el ambiente con 64,97 kWh en promedio anual, como también los equipos y ordenadores..

Figura 73: Confort T1, ambiente múltiple

14.04  
EnergyPlus Output

Comfort - Primer nivel, Ambiente múltiple  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



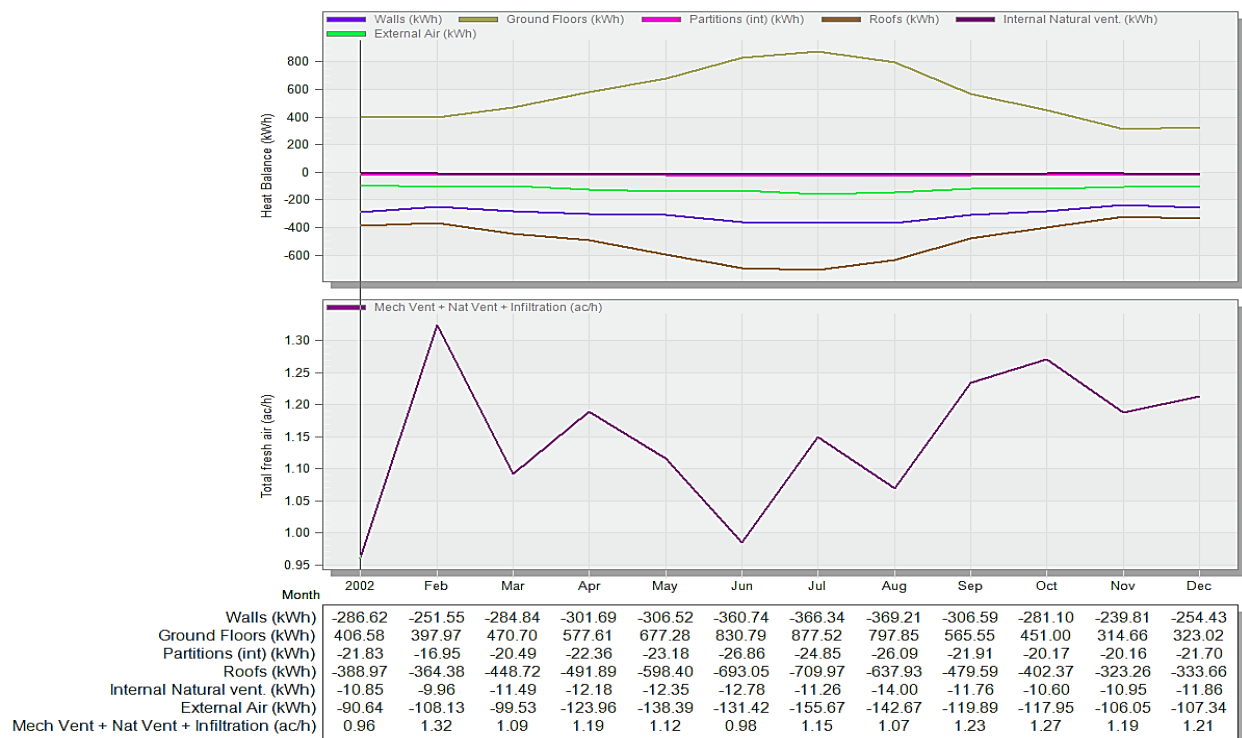
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 74: Fabric and ventilation T1, ambiente múltiple

-286.62  
EnergyPlus Output

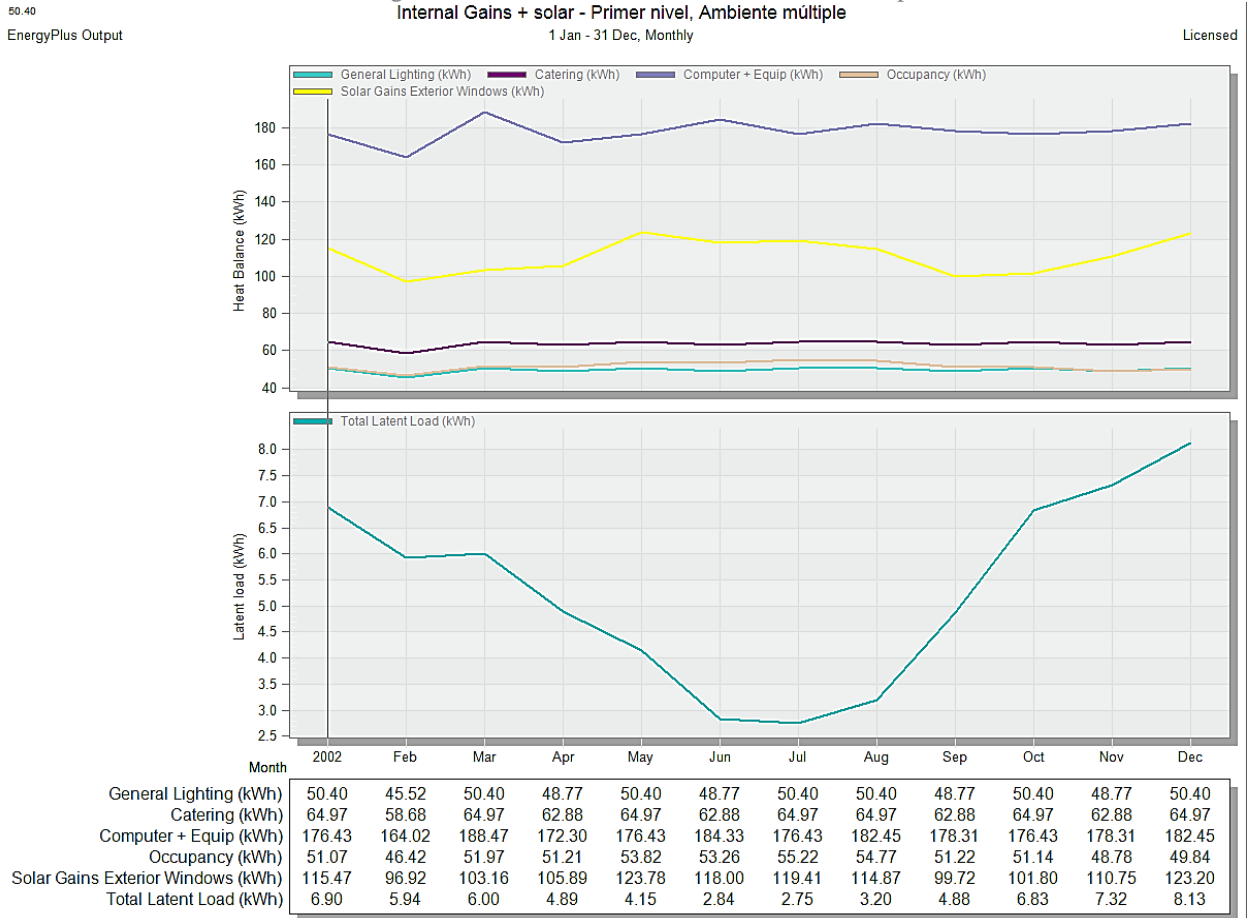
Fabric and Ventilation - Primer nivel, Ambiente múltiple  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 75: Ganancias internas T1, ambiente múltiple



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

## 4.2 Discusión respecto al estado actual-todas las tipologías

Las soluciones constructivas en el estado actual han demostrado tener limitaciones para dotar de confort térmico a la vivienda sobre todo en las horas de la madrugada y de la noche, confirmando lo apuntado en la revisión bibliográfica. A partir del análisis realizado en los ambientes de permanencia prolongada de las tipologías (T1-T5) se pudo observar que:

El POC anual en todos los casos (T1-T5) está entre un 1.5% a un 23.6% siendo el peor mes es Julio, las TO alcanzan un promedio anual de apenas 12.3°C, se ha observado que las pérdidas de calor se dan principalmente por la envolvente y ventilación, más en detalle se indica en la Tabla 39.

-La tipología T1 posee solamente 23,6% de horas en confort alcanzando una temperatura promedio anual de 12,1 °C, máxima de 14,6 °C en noviembre, mínima de 9,0 °C en julio, con pérdidas de calor principalmente por el techo. Eso se debe a que posee una cobertura metálica (Calamina) y es una vivienda de un nivel, seguido de las paredes y el aire externo.

-La T2 posee solamente 8,1% de horas ocupadas en confort alcanza una temperatura promedio anual de 11,4 °C, máxima de 14,6 °C en noviembre, mínima de 6,9 °C en junio, con pérdidas de calor principalmente por el techo (Roofs) debido a que es una vivienda de un nivel, seguido de las paredes (Walls), el aire externo (external air) y piso (Groud floor).

-La T3 posee solamente 9,46% de horas en confort promediando los porcentajes de los ambientes de permanencia prolongada, alcanza una temperatura promedio anual de 12,1 °C, máxima de 14,8 °C en noviembre, mínima de 8,5 °C en junio y julio, con pérdidas de calor principalmente por las paredes (Walls) y el aire externo.

-La T4 posee solamente 6,13% de horas ocupadas en confort promediando los porcentajes de los ambientes de permanencia prolongada, alcanza una temperatura promedio anual de 11,46 °C, máxima de 15,0 °C en noviembre, mínima de 7,0 °C en junio y julio, con pérdidas de calor principalmente por el aire externo y paredes.

-La T5 posee solamente 8,86% de horas ocupadas en confort promediando los porcentajes de los ambientes de permanencia prolongada, alcanza una temperatura promedio anual de 12,50 °C, máxima de 15,4 °C en noviembre, mínima de 9,0 °C en junio y julio, con pérdidas de calor principalmente por el aire externo y paredes, techo y aire externo.

Tabla 39: POC de ambientes de permanencia prolongada en su estado actual

	Ambiente	% disconfort por frio	% horas en confort	% disconfort por calor	TO			Pérdida de calor a través de:
					Máx	Min	Promedio	
T1	Ambiente múltiple	76,2	23,6	0,1	14,6	9,0	12,1	Techo, paredes, aire externo
T2	Ambiente múltiple	91,9	8,1	0,0	14,6	6,9	11,4	Paredes, aire externo, techo
T3	Sala-comedor	96,5	3,5	0,0	13,6	8,0	11,4	Paredes, aire externo, piso
	Dormitorio Norte	87,7	12,3	0,0	14,9	10,3	12,8	Aire externo, paredes, piso
	Dormitorio Sur	87,4	12,6	0,0	16,1	7,4	12,1	Paredes
T4	Sala-comedor	98,5	1,5	0,0	14,0	6,0	10,7	Aire externo, paredes, ventilación natural interior
	Dormitorio Norte	92,4	7,6	0,0	15,3	8,6	12,3	Paredes, pisos interiores
	Dormitorio Sur	90,7	9,3	0,0	15,8	6,4	11,4	Paredes, ventilación natural interior
T5	Sala-comedor	88,9	11,1	0,0	15,7	11,6	13,9	Paredes, aire externo
	Dormitorio Norte	97,4	2,6	0,0	14,3	6,9	10,9	Paredes, techo
	Dormitorio Sur	81,1	12,9	0,0	16,3	8,5	12,7	Paredes, techo

Fuente: Elaboración propia

Conviene subrayar que en todos los casos analizados no existe el disconfort por calor. Queda evidenciada la necesidad de mejora en la envolvente térmica dada frecuentemente por la pérdida de calor por paredes y cubiertas y a través de infiltraciones de aire en las carpinterías.

#### 4.3 Propuestas de intervención para mejora

Una vez analizados y discutidos los resultados de la situación actual de las tipologías de VIS, y con base en la bibliografía estudiada, se idearon una serie de propuestas de intervenciones que podrian incrementar el confort térmico. Un aspecto a tener en cuenta es que no es posible modificar el entorno. Pues se trata de viviendas

pareadas con vecinos muy próximos que no pueden ser eliminados ni alterados. Así que las principales directrices de intervención adoptadas han sido:

- Utilizar siempre sistemas pasivos.
- Siempre que sea posible utilizar la estrategia general de captación de la radiación solar, valiéndose de vanos orientados al Ecuador.
- No realizar grandes cambios en la envolvente térmica, pero si en los puntos donde pueda haber grandes necesidades.
- Plantear intervenciones que no impliquen la modificación de la distribución interior, procurando mantener su funcionalidad.
- Utilizar materiales autóctonos con bajo coste. Por ser de fácil adquisición para el poblador del lugar y con disponibilidad local.

Se evaluará la validez de esas propuestas de intervención para mejorar el porcentaje de horas ocupadas en confort (POC), utilizando simulación según los criterios de la ASHRAE 55-2017. Así, con base en el referencial teórico y las directrices de intervención, se concluyó por adoptar dos estrategias de intervención relevantes y sus respectivos sistemas. Véase la Tabla 40:

Tabla 40: Estrategias para las propuestas de intervención

<b>Estrategia 1:</b>	Captación de la radiación solar	
Mejora de la envolvente térmica (EnT)	Conservación de la energía	Vanos al Ecuador
	Acumulación térmica:	Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica
<b>Estrategia 2:</b>	CS (directa)	Envolvente con alta inercia térmica y aislamiento.
	Calefacción solar (CS)	CS (indirecta)
		Ventanas y lucernarios a favor. Captadores y acumuladores a través de paredes, cubierta y suelo.

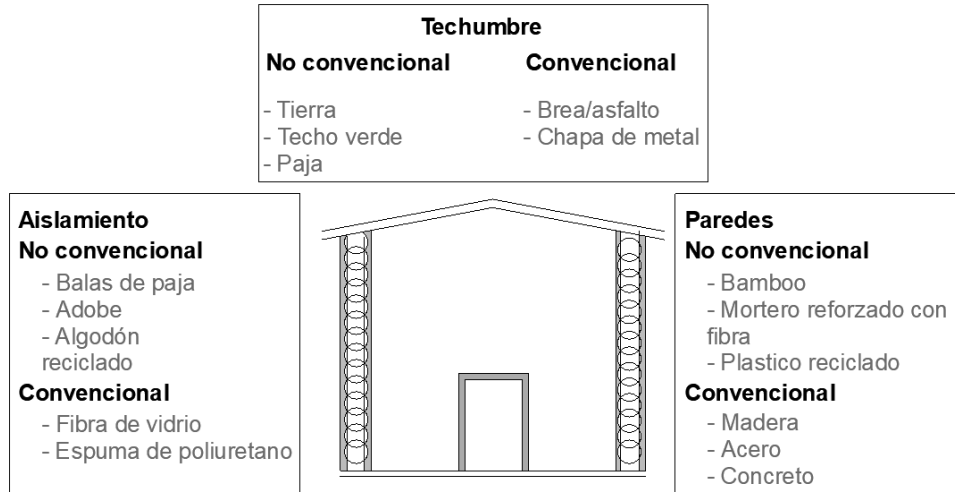
Fuente: Elaboración propia

**Sistemas constructivos propuestos:** Los sistemas constructivos no convencionales de tipo vernácula suponen el uso de materiales autóctonos. Los sistemas constructivos para intervención elegidos son mixtos, (materiales convencionales como no convencionales) Figura 76, con que posean baja transmitancia térmica y permitan la



mejora de la envolvente con aislamiento térmico, para reducir la pérdida de calor como para mantener las superficies internas a una temperatura más alta que el estado actual.

Figura 76: Envoltoria con ejemplos de materiales convencionales y no convencionales



Fuente: (HARRIES, KENT, 2016, p. 64)

### **a) Resultados para propuestas de mejoras – intervenciones aisladas**

En este apartado se exhiben los resultados de las simulaciones realizadas para las distintas intervenciones sugeridas aisladamente para las estrategias referentes a la mejora de las envolventes térmicas (Ent) y uso de la calefacción solar (CS). El objetivo de este paso metodológico ha sido denotar la influencia de cada una de ellas, respecto a cada tipología analizada.

El manejo de las variables consideradas para las tipologías T1 y T2 son sobre todo las que tienen que ver con la mejora de la envolvente térmica (EnT) y de calefacción solar (CS), estas tipologías son las que cuentan con las mejores posibilidades; por ser viviendas de un nivel, por contar con un patio posterior, además de la posibilidad de acceso solar por techo. En estos casos, siendo la ventana cenital la que mejor se acomoda, pues entre un muro de inercia y una ventana cenital es preferente una ventana cenital esta ultima por posibilitar el acceso vertical del sol en la zona Mesoandina. Para las demás tipologías no se pudo configurar el acceso solar por techo. Puesto que estas tienen planificado una expansión vertical y horizontal con tendencia a ocupar todo el lote terminado en una losa de concreto, siendo los casos (T3, T4 y T5) se consideró incorporar variables que tengan que ver en mayor medida con la hermeticidad y el aislamiento en adición a la calefacción solar por sistema indirecto (muro de inercia), ya que el criterio general fue el de no realizar grandes modificaciones.

La Tabla 41, Tabla 43, Tabla 45, Tabla 49, Tabla 53 muestran las intervenciones sugeridas para la estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT) que son once (11), se subdividieron en variables por componentes de la vivienda es decir, por techos, muros, pisos, ventanas y puerta. Así como para la estrategia de la calefacción solar (CS) que son dos (2) las que se configuraron por techo y muro como también el manejo de las infiltraciones, sumando catorce (14) variables en total. A seguir se muestra las variables por tipología y el incremento que significo la adición de cada intervención respecto al estado actual de las distintas tipologías tanto para el día típico de invierno como anualmente.

**Tipología 1 – variables simuladas y resultados:** Para la T1 se ha simulado aisladamente las variables indicadas en la Tabla 41. Las variables que supusieron los mejores resultados en el incremento de la TO, (Tabla 42):

- Estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT): el aislamiento en muro con lana de oveja (V4), con variación de 1,15 °C para el día típico y 0,94 °C anuales.

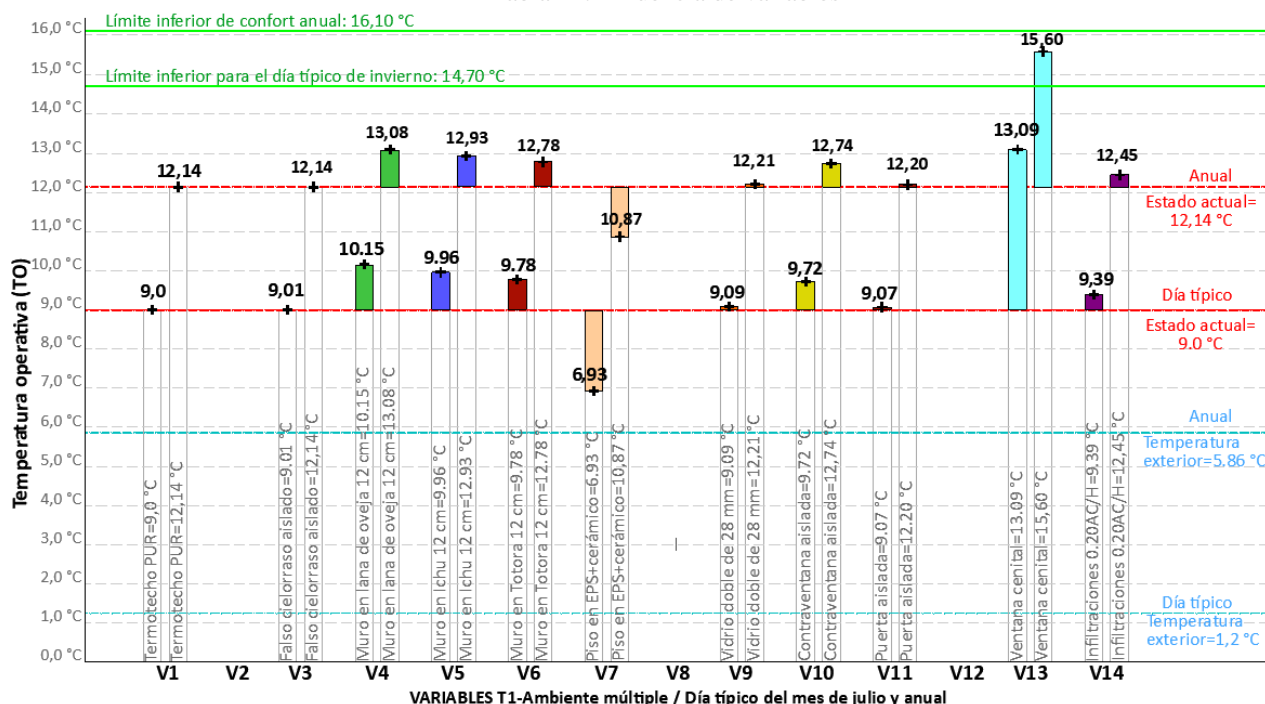
- Estrategia CS: ventana cenital (V13), con variación de 4,09 °C para el día típico y 3,46 °C anuales.

Tabla 41: Variables para la T1

Estrategias	MET										CS		Infiltr.	
	Techo		Muro			Piso	Ventana		Puerta	Ganancia solar				
Tipología	Variables													
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14
	Termotecho PUR	Techo doble	Falso cielorraso	Lana de oveja 12 cm	Ichu 12 cm	Totora 12 cm	EPS+cerámico	Entrepiso aislado	Vidrio doble 28mm	Contraventanas aisladas	Puertas aisladas	Muro de inercia	Ventana cenital	Cambio a 0.20 AC/H
<b>T1</b>														

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42: Influencia de variables T1



Fuente: Elaboración propia

**Tipología 2 – variables simuladas y resultados:** Para la T2 se ha simulado aisladamente las variables indicadas en la Tabla 43. Las variables que supusieron los mejores resultados en el incremento de la TO, (Tabla 42):

- Estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT): el aislamiento en muro con lana de oveja (V4), con variación de 1,46 °C para el día típico y 1,51 °C anuales.

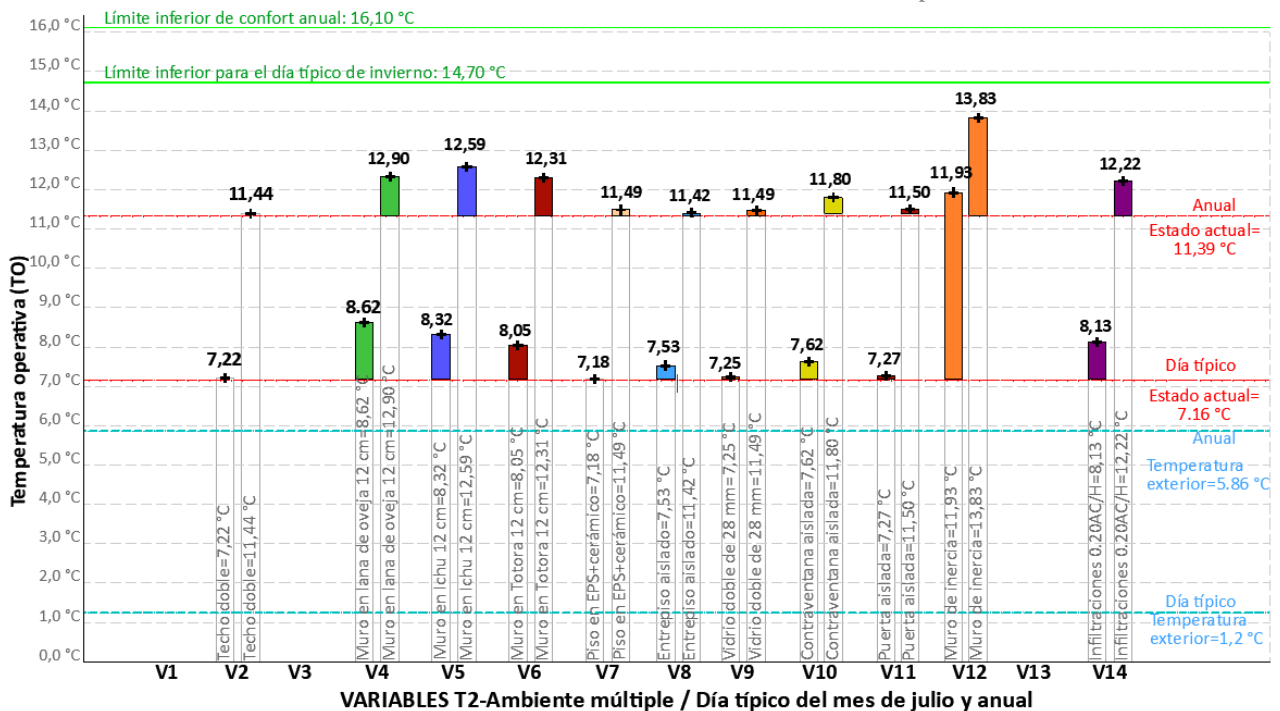
- Estrategia CS: muro de inercia (V12), con variación de 4,77 °C para el día típico y 2,44 °C anuales.

Tabla 43: Variables para la T2

Estrategias	MET										CS		Infiltr.	
	Techo		Muro			Piso	Ventana	Puerta		Ganancia solar				
Tipología	Variables													
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14
	Termotecho PUR	Techo doble	Falso cielorraso	Lana de oveja 12 cm	lchu 12 cm	Totora 12 cm	EPS+cerámico	Entrepiso aislado	Vidrio doble 28mm	Contraventanas aisladas	Puertas aisladas	Muro de inercia	Ventana cenital	Cambio a 0.20 AC/H
<b>T2</b>														

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44: Influencia de variables del ambiente múltiple, T2



Fuente: Elaboración propia

**Tipología 3 – variables simuladas y resultados:** Para la T3 se ha simulado aisladamente las variables indicadas en la Tabla 45. Las variables que supusieron los mejores resultados en el incremento de la TO, (Tabla 46):

Estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT):

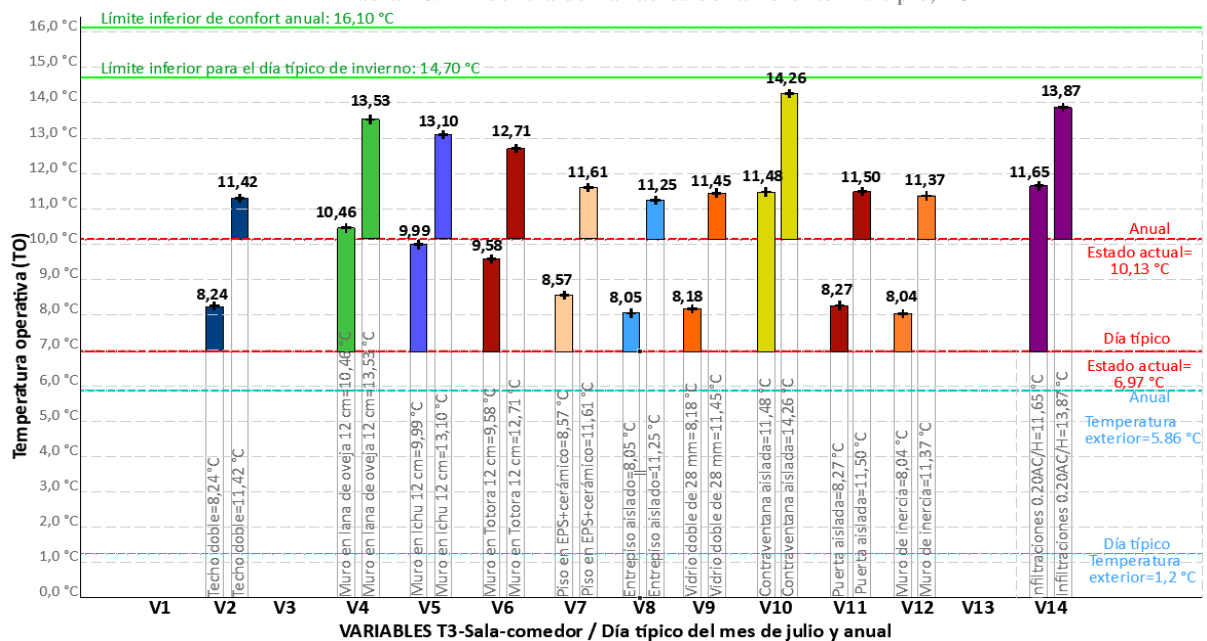
- Primeramente contraventanas aisladas (V10), con variación de 4,51 °C para el día típico y 4,13 °C anuales.
- Seguidamente la hermeticidad (V14), con variación de 4,68 °C para el día típico y 4,74 °C anuales.
- Como también el aislamiento en muro con lana de oveja (V4), con variación de 3,49 °C para el día típico y 3,40 °C anuales.

Tabla 45: Variables para la T3

Estrategias	MET										CS			
	Techo		Muro			Piso	Ventana		Puerta	Ganancia solar	Infiltr.			
Tipología	Variables													
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14
	Termotecho PUR	Techo doble	Falso cielorraso	Lana de oveja 12 cm	Ichu 12 cm	Totora 12 cm	EPS+cerámico	Entrepiso aislado	Vidrio doble 28mm	Contraventanas aisladas	Puertas aisladas	Muro de inercia	Ventana cenital	Cambio a 0.20 AC/H
<b>T3</b>														

Fuente: Elaboración propia

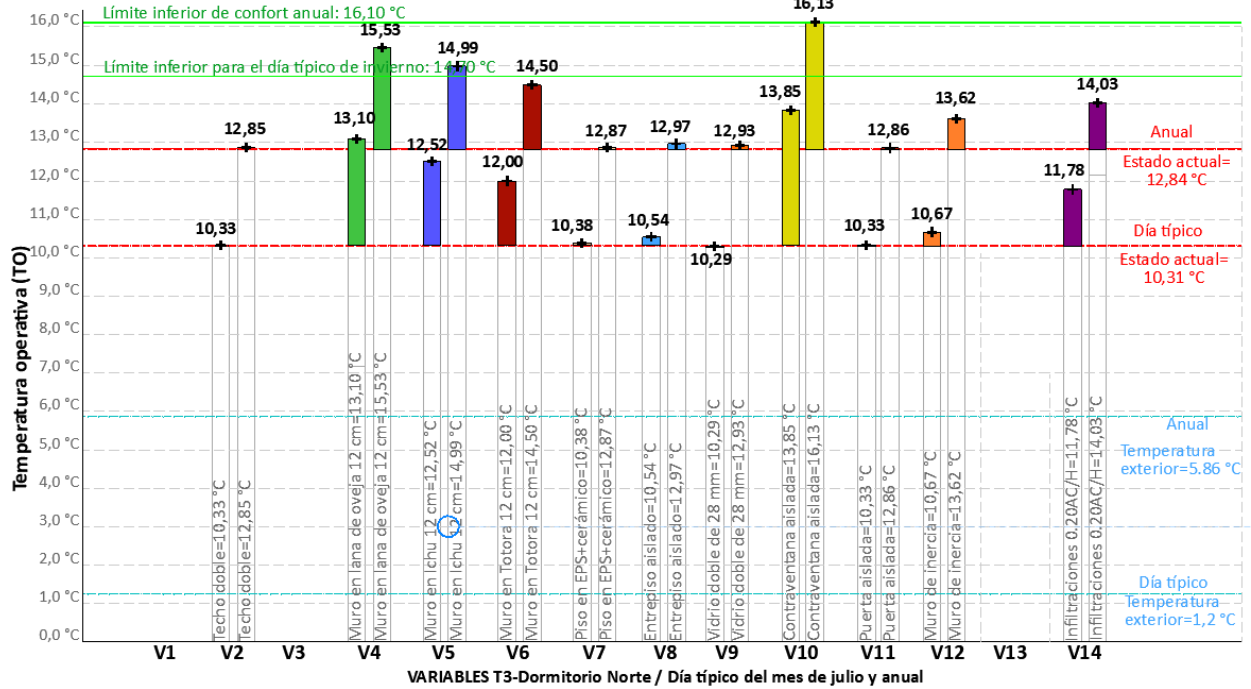
Tabla 46: Influencia de variables del ambiente múltiple, T3



Fuente: Elaboración propia

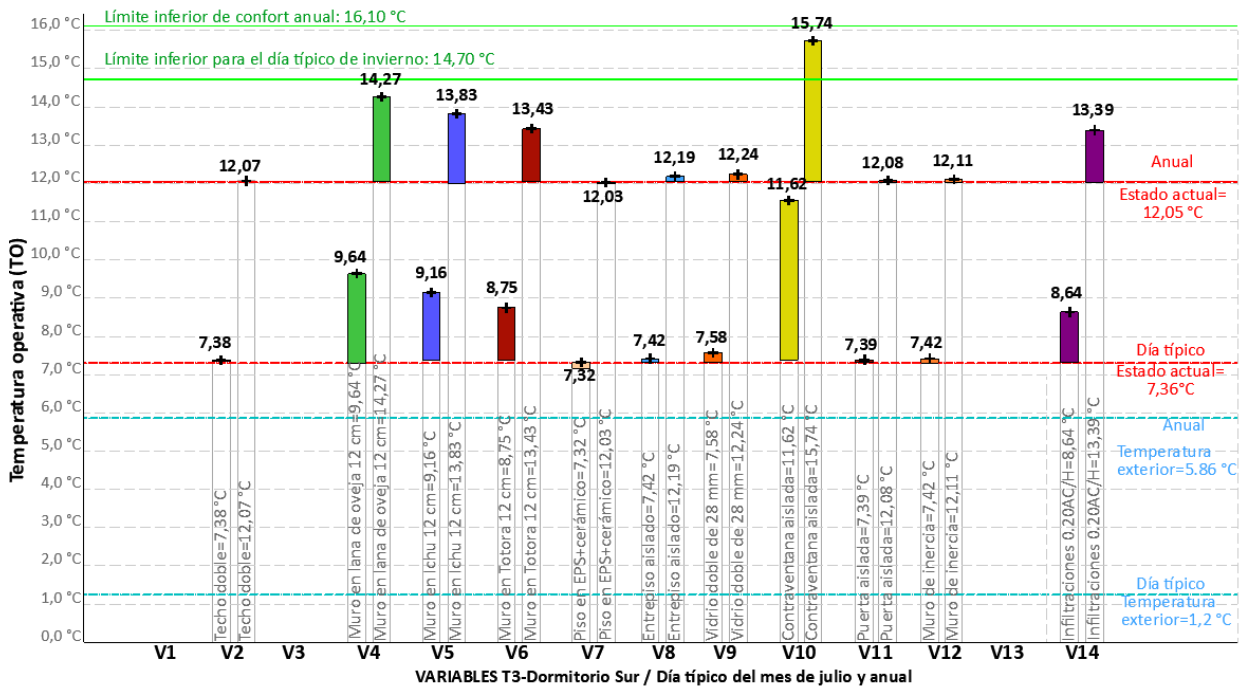
Respecto al dormitorio Norte y dormitorio sur incrementaron de la misma forma en las variables V10 y V14 y V4 como se observa en las Tabla 47 y Tabla 48.

Tabla 47: Influencia de variables del dormitorio Norte, T3



Fuente: Elaboración propia

Tabla 48: Influencia de variables del dormitorio Sur, T3



Fuente: Elaboración propia

**Tipología 4 – variables simuladas y resultados:** Para la T4 se ha simulado aisladamente las variables indicadas en la Tabla 49. Las variables que supusieron los mejores resultados en el incremento de la TO, (Tabla 50):

Estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT):

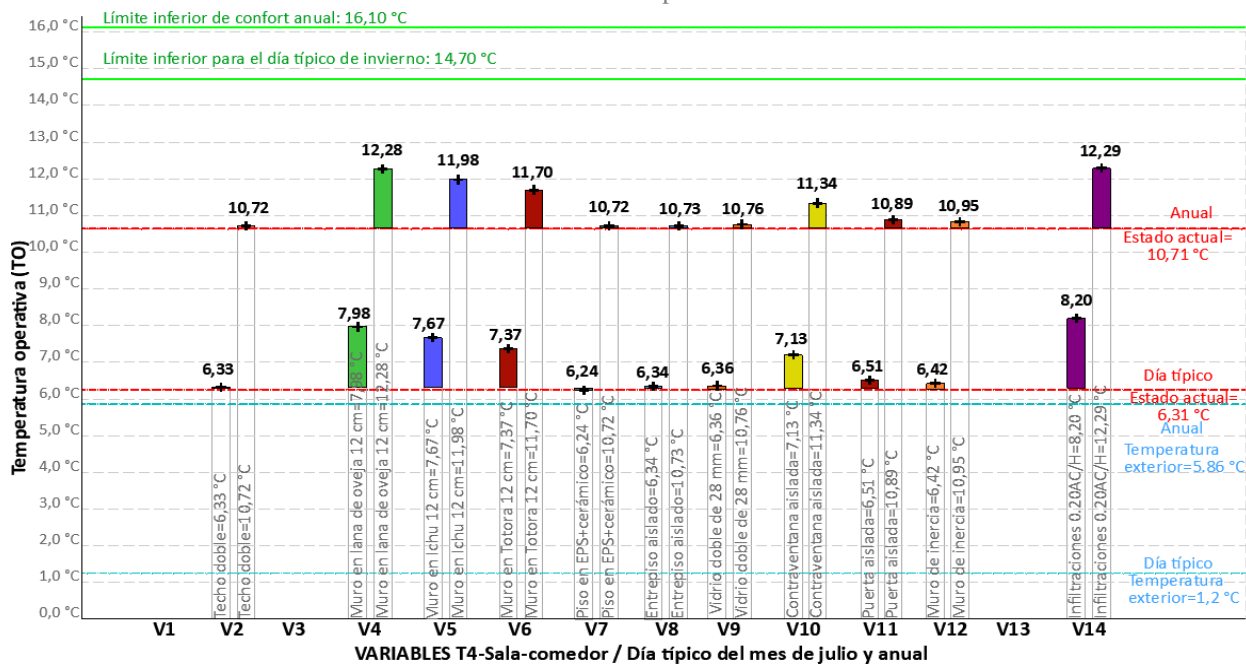
- El incremento en hermeticidad (V14), con variación de 1,89 °C para el día típico y 1,58 °C anuales.
- Aislamiento en muro con lana de oveja (V4), con variación de 1,67 °C para el día típico y 1,57 °C anuales.
- Contraventanas aisladas (V10), con variación de 0,82 °C para el día típico y 0,63 °C anuales.

Tabla 49: Variables para la T4

Estrategias	MET										CS		Infiltr.	
	Techo		Muro			Piso	Ventana		Puerta	Ganancia solar				
Tipología	Variables													
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14
	Termotecho PUR	Techo doble	Falso cielorraso	Lana de oveja 12 cm	Ichu 12 cm	Totora 12 cm	EPS+cerámico	Entrepiso aislado	Vidrio doble 28mm	Contraventanas aisladas	Puertas aisladas	Muro de inercia	Ventana cenital	Cambio a 0.20 AC/H
<b>T4</b>														

Fuente: Elaboración propia

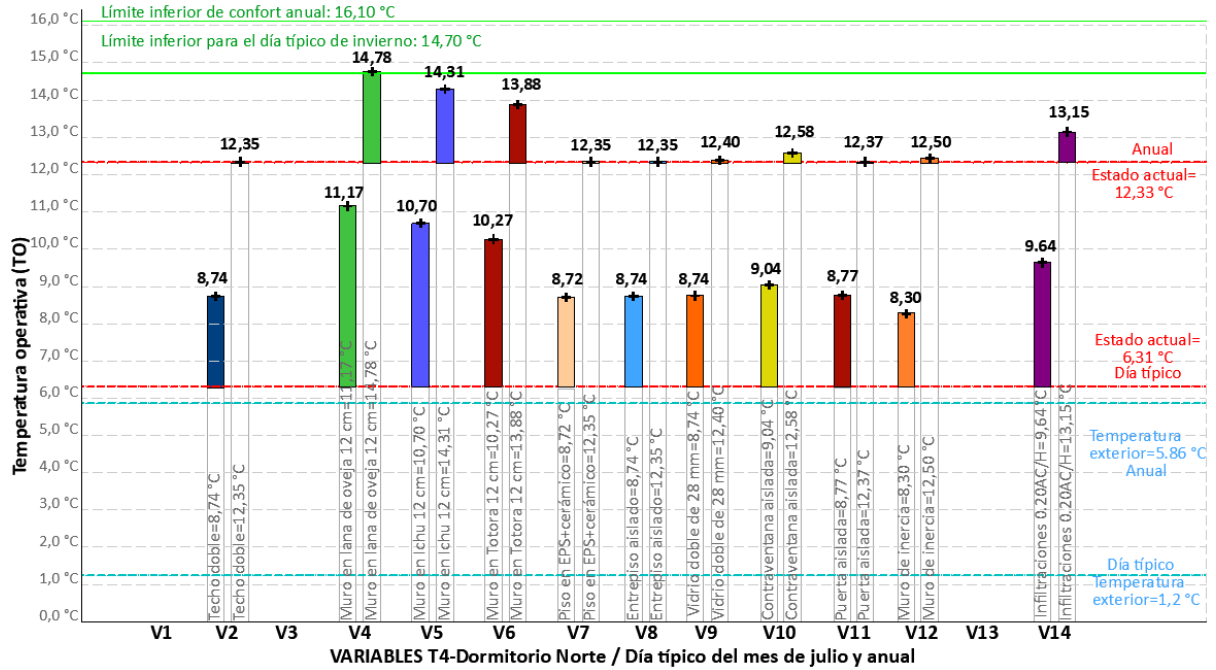
Tabla 50: TO de variables para la T4 en sala comedor



Fuente: Elaboración propia

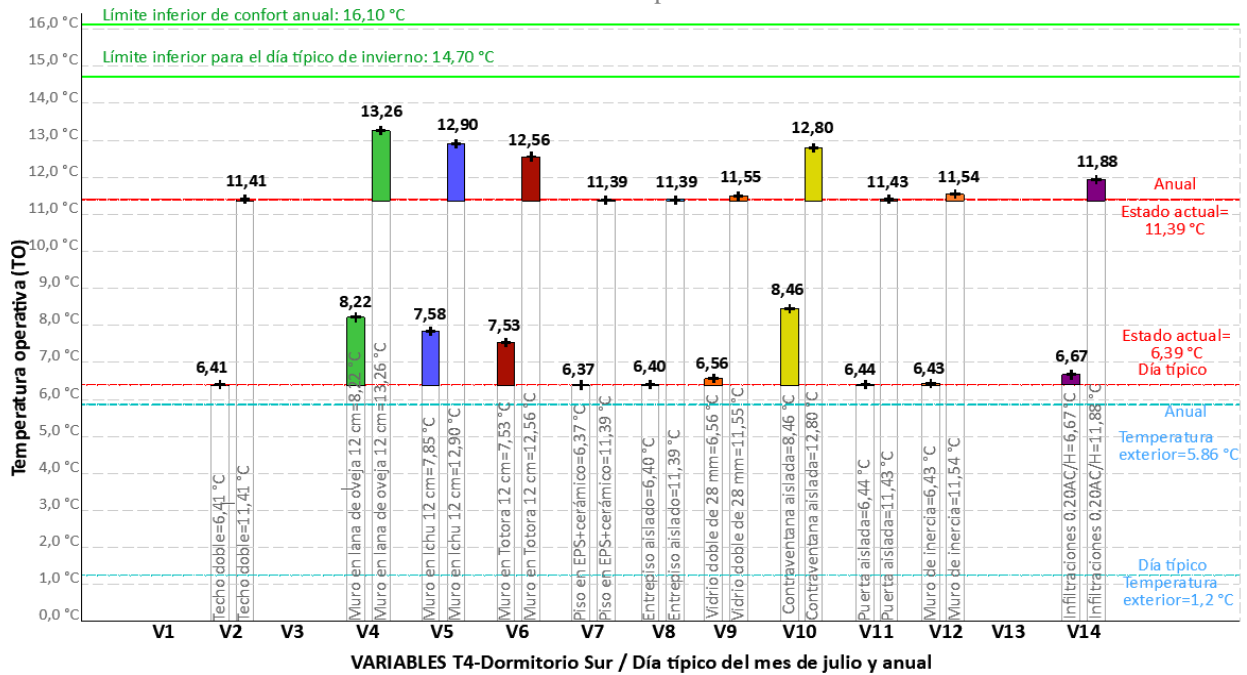
Respecto al dormitorio Norte y dormitorio sur se observó un incremento de la siguiente forma en las variables V4, V10 y V14.

Tabla 51: TO en variables para la T4 en dormitorio Norte



Fuente: Elaboración propia

Tabla 52: TO en variables para la T4 en dormitorio Sur



Fuente: Elaboración propia



**Tipología 5 – variables simuladas y resultados:** Para la T5 se ha simulado aisladamente las variables indicadas en la Tabla 53. Las variables que supusieron los mejores resultados en el incremento de la TO, (Tabla 54):

Estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT):

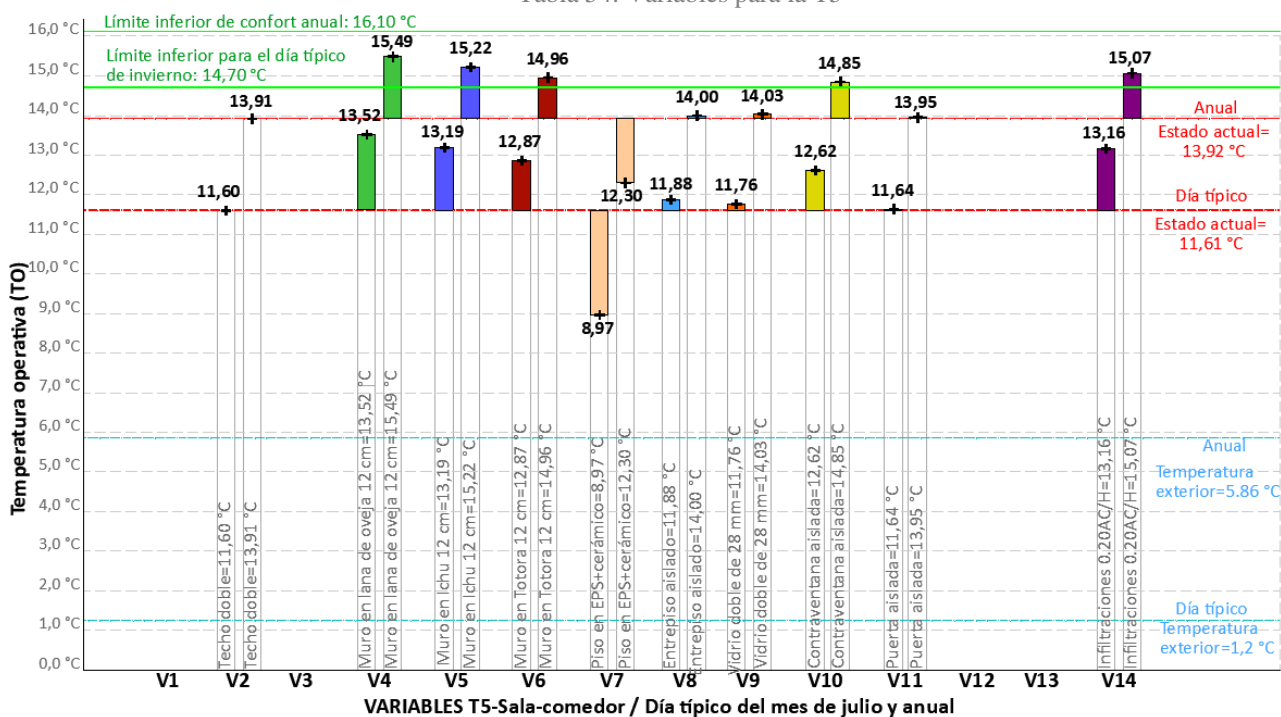
- Primeramente aislamiento en muro con lana de oveja (V4), con variación de 1,91 °C para el día típico y 1,57 °C anuales.
- El incremento en hermeticidad (V14), con variación de 1,55 °C para el día típico y 1,15 °C anuales.
- Contraventanas aisladas (V10), con variación de 1,01 °C para el día típico y 0,93 °C anuales.

Tabla 53: Variables para la T5

Estrategias	MET										CS		Infiltr.	
	Techo		Muro			Piso	Ventana		Puerta	Ganancia solar				
Tipología	Variables													
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14
	Termotecho PUR	Techo doble	Falso cielorraso	Lana de oveja 12 cm	Ichu 12 cm	Totora 12 cm	EPS+cerámico	Entrepiso aislado	Vidrio doble 28mm	Contraventanas aisladas	Puertas aisladas	Muro de inercia	Ventana cenital	Cambio a 0.20 AC/H
<b>T5</b>														

Fuente: Elaboración propia

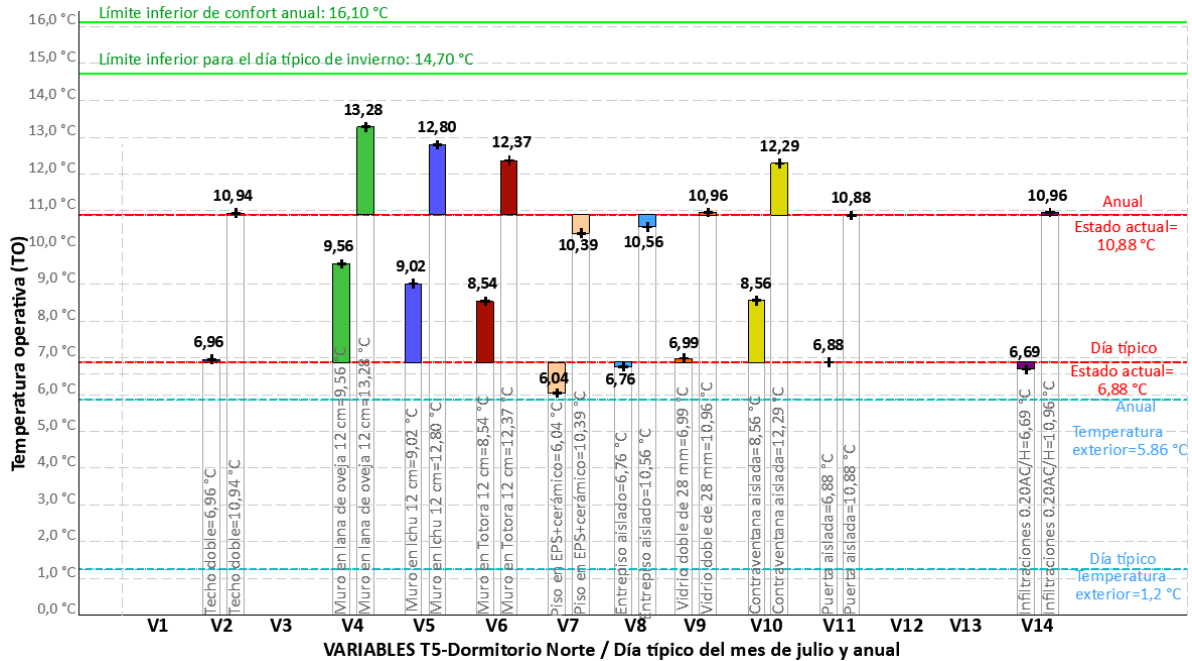
Tabla 54: Variables para la T5



Fuente: Elaboración propia

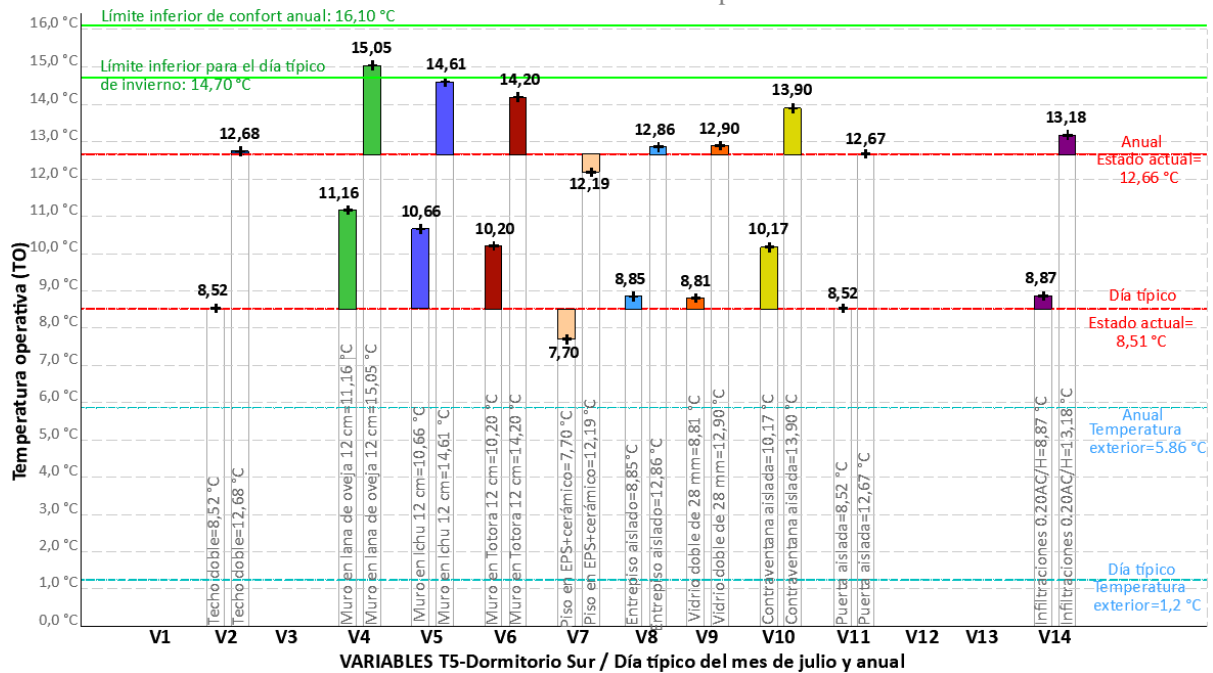
Respecto al dormitorio Norte y dormitorio sur se observó un incremento en las variables V4, V10, el muro de inercia no fue configurado debido a que el muro norte en el dormitorio Norte no recibía sol por las obstrucciones de los vecinos.

Tabla 55: Variables para la T5



Fuente: Elaboración propia

Tabla 56: Variables para la T5



Fuente: Elaboración propia

## **Discusiones y conclusiones de las simulaciones de intervenciones aisladas**

Una vez analizadas las variables aisladas por cada estrategia y por tipología se ha podido observar cuales de estas podrían incrementar la temperatura operativa (TO) de cada ambiente sugiriendo la importancia de cada una:

-Para la T1, desde el punto de vista de la estrategia de EnT, el aislamiento de los muros (V4, V5 y V6) y el aislamiento en ventanas (V10) se mostró más importante que las variables concernientes en techo o piso, aunque la TO apenas haya incrementado con respecto a su estado actual en hasta un 1,15°C (Día típico) y 0,94 °C (Promedio del año), sin embargo, la variable que realmente evidencia una diferencia notable en TO está relacionada con la estrategia de CS por sistema indirecto (V13), con el empleo de una ventana cenital, incrementando en 4,09 °C (Día típico) y 3,46 °C (Promedio del año).

-Para la T2, respecto de la estrategia de EnT, el aislamiento de los muros (V4, V5 y V6) y la variación en infiltraciones (V14) se mostró más importante que las variables concernientes en techo, piso o puerta, aunque la TO solo haya incrementado con respecto a su estado actual en hasta un 1,46°C (Día típico) y 1,51 °C (Promedio del año), sin embargo para esta tipología la variable que realmente denota una diferencia notable en TO está relacionada con la estrategia de CS por sistema indirecto (V12), con el empleo de un muro de inercia, incrementando en 4,77 °C (Día típico) y 2,44 °C (Promedio del año). En este caso se hace imprescindible el uso de un muro de inercia o una ventana cenital, viendo que entre estas dos la que mejores prestaciones térmicas ofrece es la ventana cenital y siendo una vivienda de un nivel, es conveniente usarla pues esta tipología ofrece esta posibilidad de adecuación. En este contexto donde se tiene vecinos que generan sombra, se observa que calefaccionar las viviendas de un nivel es más complicado con respecto a las viviendas de dos niveles, pues quedan más expuestas a la intemperie por lo que el manejo solar es la mejor opción.

-La T3, desde el punto de vista de la estrategia de EnT, el aislamiento de los muros (V4, V5 y V6) y el aislamiento en ventanas (V10) se mostró más importante que las variables concernientes en techo o piso, o puerta, aunque la TO haya incrementado con respecto a su estado actual en hasta un 3,49°C (Día típico) y 3,40 °C (Promedio del año), resultado similar se observa en las variables que está relacionada con la estrategia de MET en contraventanas aisladas V10, incrementando en 4,51 °C (Día típico) y 4,13 °C (Promedio del año) así como la V14 incrementando en 4,68 °C (Día típico) y 3,74 °C (Promedio del año) comportamiento

semejante en los tres ambientes analizados de la tipología (sala-comedor, Dormitorio Norte y dormitorio Sur). Siendo una vivienda de dos niveles se resalta la importancia del manejo del aislamiento de la vivienda como también el uso de las infiltraciones de aire y el manejo de las carpinterías.

-La T4, respecto de la estrategia de MET, el aislamiento de los muros (V4, V5 y V6) y el aislamiento en ventanas (V10) se mostró más importante que las variables concernientes en techo o piso, o puerta, aunque la TO haya incrementado con respecto a su estado actual en hasta un 4,86°C (Día típico) y 2,45 °C (Promedio del año), resultado similar manifiesta la variable relacionada con las infiltraciones V14, incrementando en 3,33 °C (Día típico) y 0,82 °C (Promedio del año) así como la V10 incrementando en 2,73 °C (Día típico) y 0,25 °C (Promedio del año). Al ser una vivienda de dos niveles se hace necesario el manejo de aislamiento en muros, el manejo de las infiltraciones y el uso de contraventanas aisladas, tal como en el caso de la T3, aquí el empleo del muro de inercia se muestra menos eficaz por tener menos acceso solar, siendo las variables concernientes al aislamiento las que mejor influyen en mayor medida en esta tipología.

-La T5, referente de la estrategia de MET, se observa que el aislamiento de los muros (V4, V5 y V6) y el manejo de infiltraciones, V1 y contraventanas aisladas, V10 se mostró más importante que las variables concernientes en techo o piso, o puerta, observándose que la TO incremento con respecto a su estado actual en hasta un 2,68°C (Día típico) y 2,40 °C (Promedio del año), resultado similar la variable relacionada con las infiltraciones V14, incrementando en 1,55 °C (Día típico) y 1,15 °C (Promedio del año) así como la V10 incrementando en 1,01 °C (Día típico) y 0,93 °C (Promedio del año). Al ser una vivienda de dos niveles se hace necesario también el manejo de aislamiento en muros, el manejo de las infiltraciones y el uso de contraventanas aisladas, tal como en el caso de la T3 y T4, aquí el empleo de la CS no se puso efectuar debido a la obstrucción solar por los vecinos colindantes, por lo que se vio innecesario.

En todos los casos analizados, las simulaciones de las variables individualizadas resultaron en incrementos de las TO, mostrándose que para las tipologías de un nivel influyo en mayor medida la CS que un aumento en la hermeticidad y que para las tipologías de dos niveles influyó en mayor medida el manejo de la envolvente y el aumento de hermeticidad. En la Tabla 57, se detallan las temperaturas obtenidas por las mejores intervenciones aplicadas aisladamente en cada tipología y ambientes. Aunque se hayan observados incrementos en las TOs, en todos los casos están aún por debajo del rango de confort considerada para la zona estudiada. A partir

de estos resultados, se consideró la necesidad de combinar más intervenciones y estrategias para obtener el confort térmico en las viviendas.

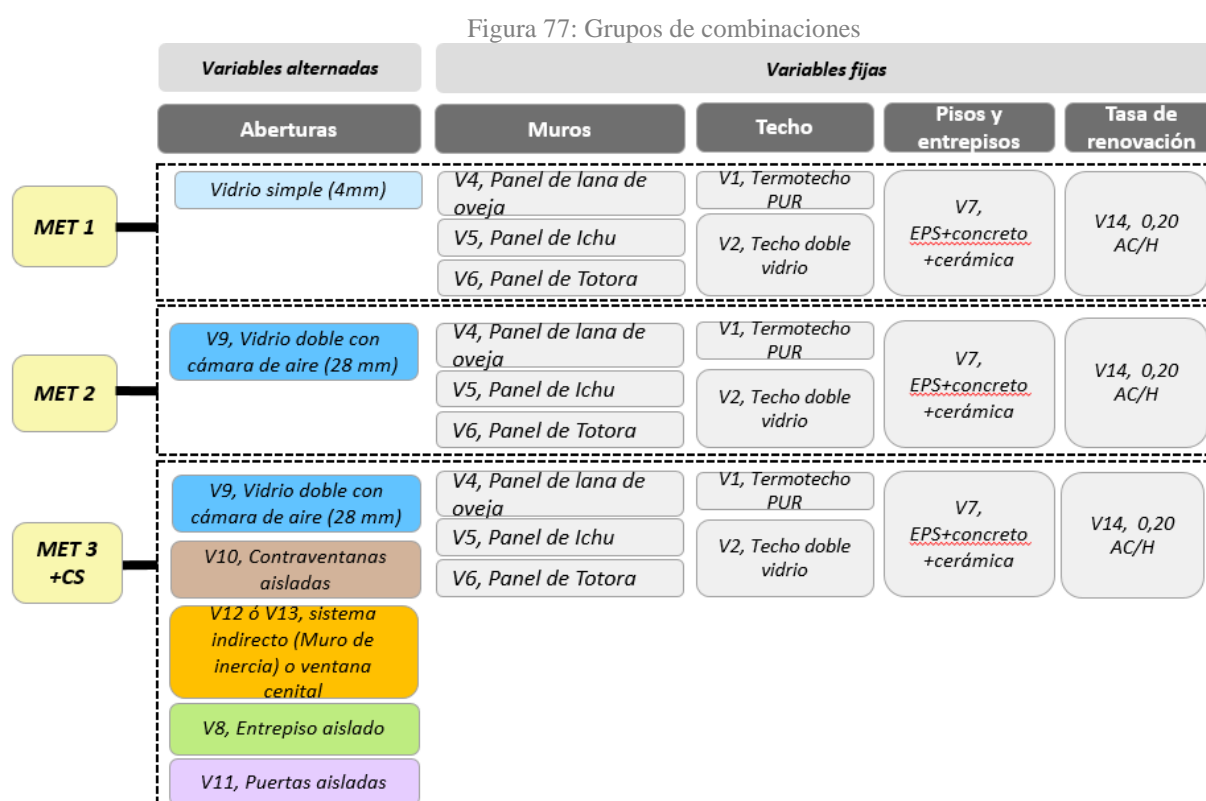
Tabla 57: Variables de mayor influencia por tipología

	MET				CS		AC/H	
	V4	V10		V12		V14		
	TO, Año	TO, Día típico	TO, Año	TO, Día típico	TO, Año	TO, Día típico	TO, Año	TO, Día típico
T1/Ambiente múltiple	10.15	13.08	9.72	12.74	13.09	15.6		
T2/Ambiente múltiple	8.62	12.9	7.62	11.8	11.93	13.83		
T3/Sala comedor	10.46	13.53	11.48	14.26			11.65	13.87
T3/Dormitorio Norte	13.1	15.53	13.85	16.13			11.78	14.03
T3/dormitorio Sur	9.64	14.27	11.62	15.74			8.64	13.39
T4/Sala comedor	7.98	12.28	7.13	11.34			8.2	12.29
T4/Dormitorio Norte	11.17	14.78	9.04	12.58			9.64	13.15
T4/Dormitorio Sur	8.22	13.26	8.46	12.8			6.67	11.88
T5/Sala comedor	13.52	15.49	12.62	14.85			13.16	15.07
T5/Dormitorio Norte	9.56	13.28	8.56	12.29			6.69	10.96
T5/Dormitorio Sur	11.16	15.05	10.17	13.9			8.87	13.18
	10.3	14.0	10.0	13.5	12.5	14.7	7.8	10.7

Fuente: Elaboración propia

## b) Grupos de combinaciones

Según lo expuesto en el apartado anterior, se procede a tomar las variables más influyentes en adelante consideradas como variables fijas y en adición las demás variables como variables alternadas. Los grupos de combinaciones permitirán comparar los materiales por medio de las simulaciones con el mejor y peor desempeño térmico, se simularán tres grupos de combinaciones denominados en adelante MET 1, MET 2 y MET 3+CS. Los cuales están compuestos de variables alternadas y fijas. Véase la Figura 77:



Fuente: Elaboración propia

### ▪ Variables alternadas

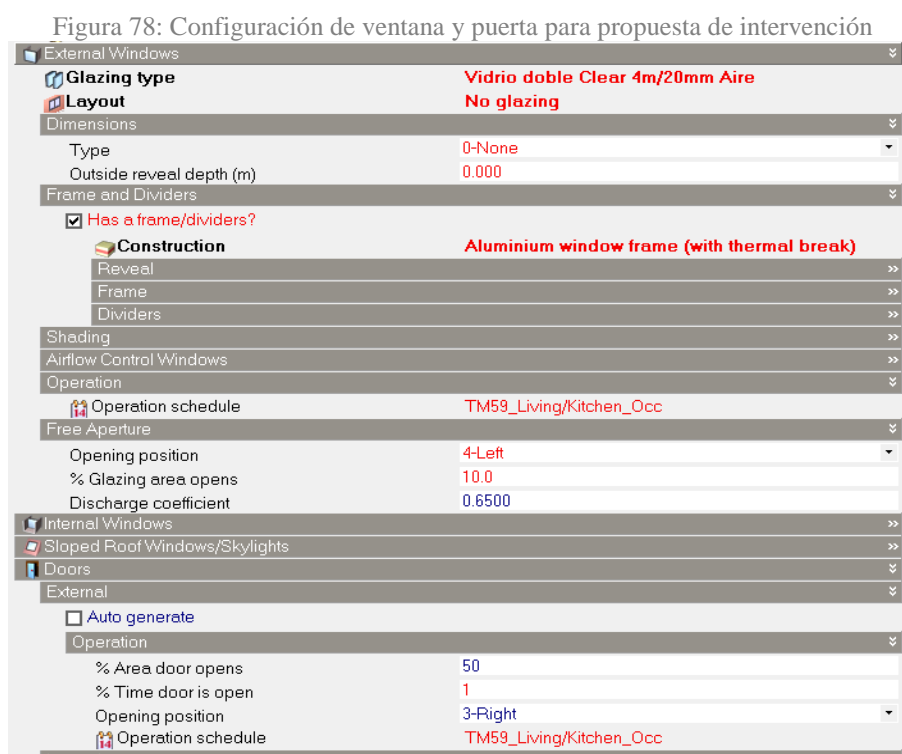
Se trató de testear seis (6) variables, consistentes en los materiales en aberturas tales como vidrio simple de 4 mm y vidrio doble con cámara de aire de 28 mm, aislamiento en las ventanas con contraventanas aisladas y puertas aisladas, entrepiso aislado y la estrategia de CS por sistema indirecto (muro de inercia) o ventana cenital. Los cuales han ido incluyéndose de forma progresiva sobre todo en la combinación MET+CS.

**Vidrios:** Según Thorpe (2018 p.52): “[...] en los edificios pasivos, las ventanas tendrán dos o tres capas de acristalamiento y varios sellos, además de aislamiento interno para evitar puentes térmicos. Las ventanas estándar de Passivhaus suelen tener triple acristalamiento en latitudes más altas”. Para este caso se propone el manejo de vidrios con baja transmitancia térmica para potenciar las ventanas como elemento captador directo:

-Vidrio simple de 4 mm,  $U=5,87 \text{ W/m}^2\text{k}$

-Vidrio doble de 28 mm con cámara de aire,  $U=2,74 \text{ W/m}^2\text{k}$ .

**Puertas y ventanas aisladas:** Para las puertas de la tercera combinación (MET 3+CS). Se consideró aislamiento que incluye (Madera-Lana de oveja-Madera) con un valor  $U=0,64 \text{ W/m}^2\text{k}$ , con un espesor de 5,0 cm, bajo el mismo criterio que las contraventanas, con porcentaje de área abierta al 50%. Ventanas en carpintería de aluminio, (adicionalmente se consideró marcos de ventana externa con rotura térmica) con porcentaje de área abierta al 10% para permitir la ventilación higiénica.

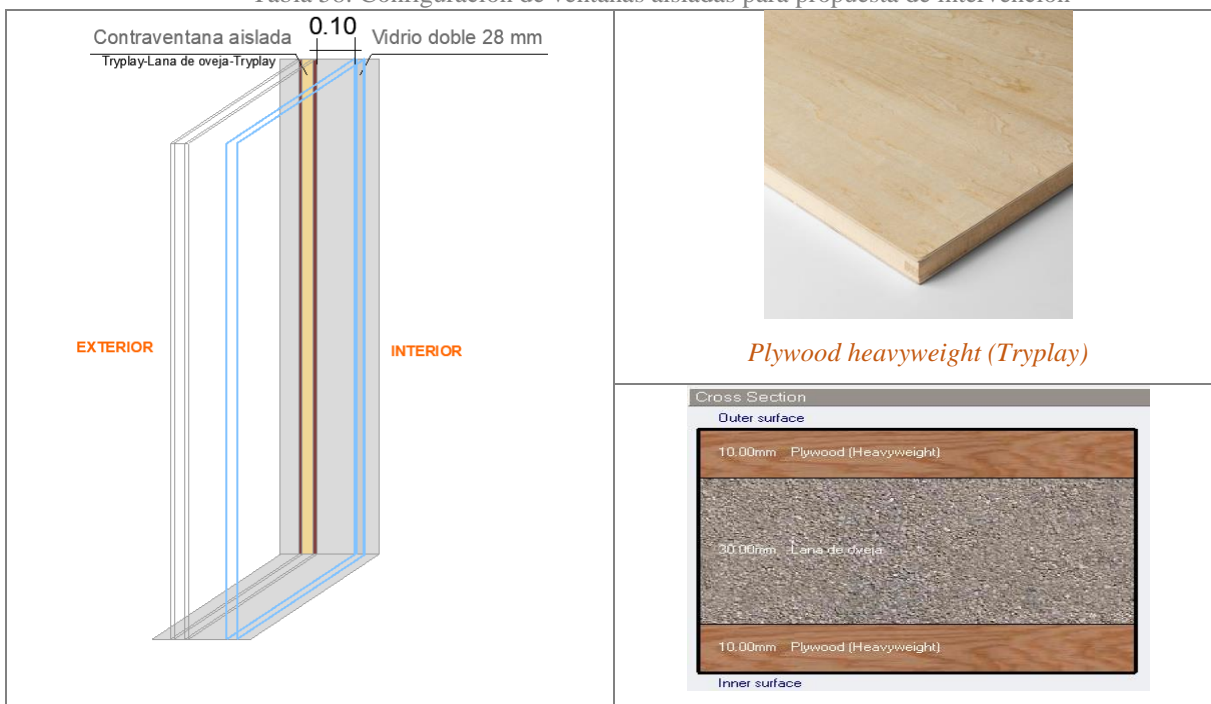


Fuente: Captura de pantalla del programa Design builder

**Contraventanas aisladas:** Se consideró para la tercera combinación (MET 3+CS). Los horarios de apertura están entre las 8:00 h y 18:00 h. Las contraventanas aisladas, se han incluido en adición a las aperturas su aislamiento consiste en una composición de (Tryplay-Lana de

oveja-Tryplay) como un sándwich, logrando un valor  $U=0,64 \text{ W/m}^2\text{k}$ , con un espesor de 5,0 cm. Para efectos del programa se colocó las contraventanas al exterior, pero sería recomendable al interior para evitar deterioros en el material.

Tabla 58: Configuración de ventanas aisladas para propuesta de intervención



Fuente: Captura de pantalla del programa *Design builder* y elaboración propia

▪ **Variables fijas**

Compuesto por ocho (8) variables que incluyen los materiales en muros (Lana de oveja, Ichu, totora), techo (termotecho PUR y techo de doble vidrio para las cajas de escaleras) y pisos (En EPS+concreto+cerámico), la permeabilidad de las carpinterías y tasas de renovación.

El CTE<sup>6</sup> HE 1, indica que: “Un aislante térmico es aquel material que tiene una conductividad térmica menor que  $0,050 \text{ w/m.K}$ . y una resistencia mayor que  $0,25$ ”. Según esto los materiales en muros, piso y techo, se han elegido por sus buenas propiedades como aislantes térmicos, acorde a la bibliografía revisada según los autores, (AZA, 2016; GHAVAMI,

<sup>6</sup> CTE, Código Técnico de la Edificación es el conjunto principal de normativas que regulan la construcción de edificios en España desde 2006.



KHOSROW; HERRERA, 2018; IVE, 2016; LABEEEE, 2018; PALOMO, 2017; THORPE, 2018):

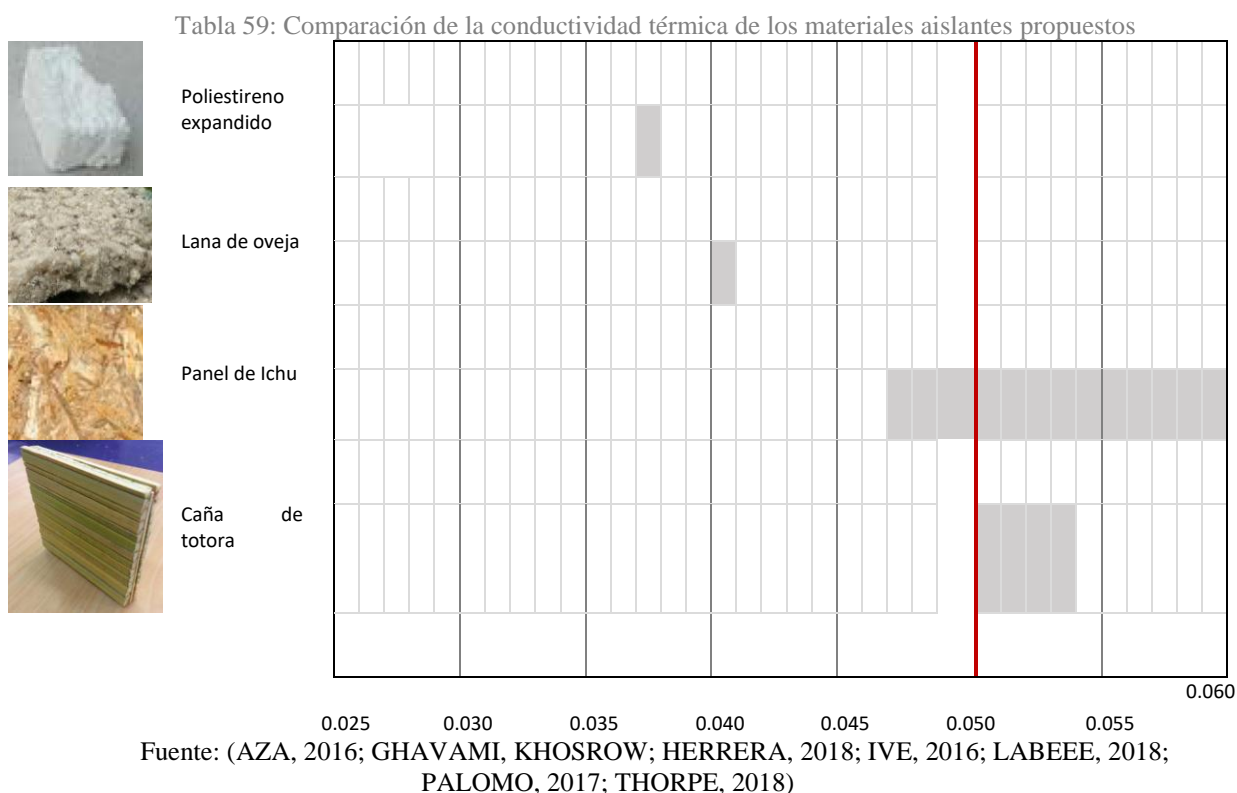
-Poliestireno expandido; 0,037-0,038 (w/m.K).

-Lana de oveja; conductividad de 0,040 (w/m.K).

-Ichu; 0,0473-0,1130 (w/m.K).

-Totora; 0,049-0,0540 (w/m.K).

Presentan valores dentro del rango propuesto. Obsérvese la Tabla 59 y mayor detalle de cada uno líneas abajo:



**Lana de oveja:** El uso de la lana de oveja como aislante térmico es una opción viable pues el departamento tiene la mayor producción de lana de ovino a nivel del país (Perú). Según MVCS (2019): “[...] es necesario 1,1 kg por m<sup>2</sup> el cual requiere de un proceso previo antes de su uso el que consiste en el lavado de la lana, impregnación de sales de boro, cardado y afieltrado en seco, dando como resultado un manto o rollo de lana de oveja”. Véase la Figura 79.

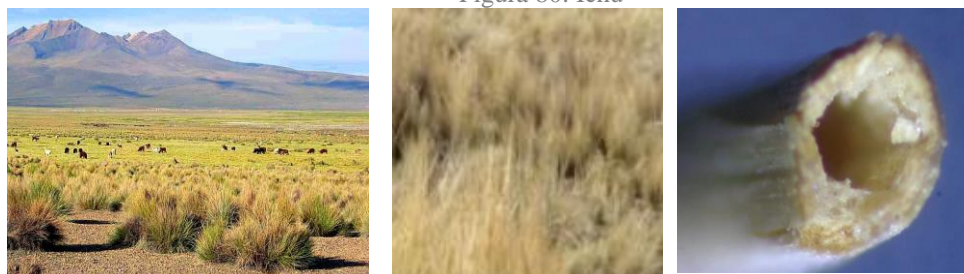
Figura 79: Panel en lana de oveja



Fuente:(PALOMO, 2017)

**Ichu:** Según refiere (OTHMAN *et al.*, 2009, p. 18; CASBA, 2019, p. 4); “Las balas de paja (Straw bales) fueron usadas por primera vez para construir casas por los colonos de Nebraska a fines del siglo XIX, ofrecen un valor de aislamiento de más del doble que las casas de estructura estándar”. Se considera una forma de construcción muy ecológica, ya que proviene de una fuente rápidamente renovable. El Ichu<sup>7</sup>, es un buen aislante, posee mejor comportamiento que la fibra de trigo y de maíz, ver Figura 80. Además que es posible la extracción de 600 kg/día según refiere: (CHARCA *et al.*, 2018, p. 764). Alan Boye en su libro “Sustainable compromises” relata el proceso de aislamiento de una vivienda con balas de paja, proceso que puede ser usado similarmente con la fibra de Ichu.

Figura 80: Ichu



Fuente: (GHAVAMI, KHOSROW; HERRERA, 2018)

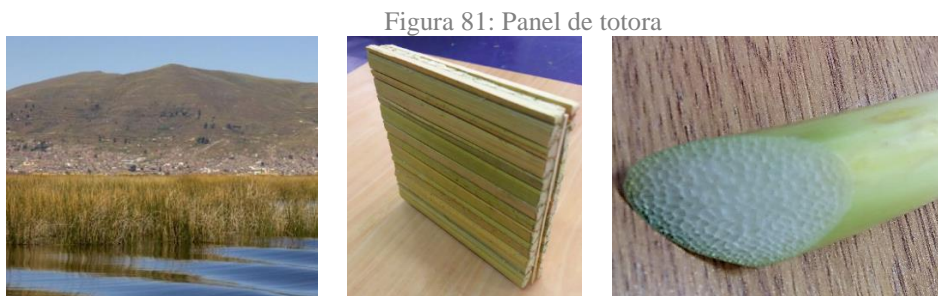
**Panel de totora:** Consiste en la adecuación de paneles compactos de kesanas<sup>8</sup> se propone esta opción pues es un material abundante a orillas del Lago Titicaca. La Reserva Nacional del Titicaca (RNTC) posee 16.000 ha de totorales usados como: alimento para ganado 30%,

---

<sup>7</sup> ICHU, paja, paja brava o paja ichu (*Stipa ichu*), es un pasto del altiplano andino sudamericano, México y Guatemala empleado como forraje para el ganado, principalmente de camélidos sudamericanos. Es endémica de Guatemala, México, Costa Rica, El Salvador, Venezuela, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina.

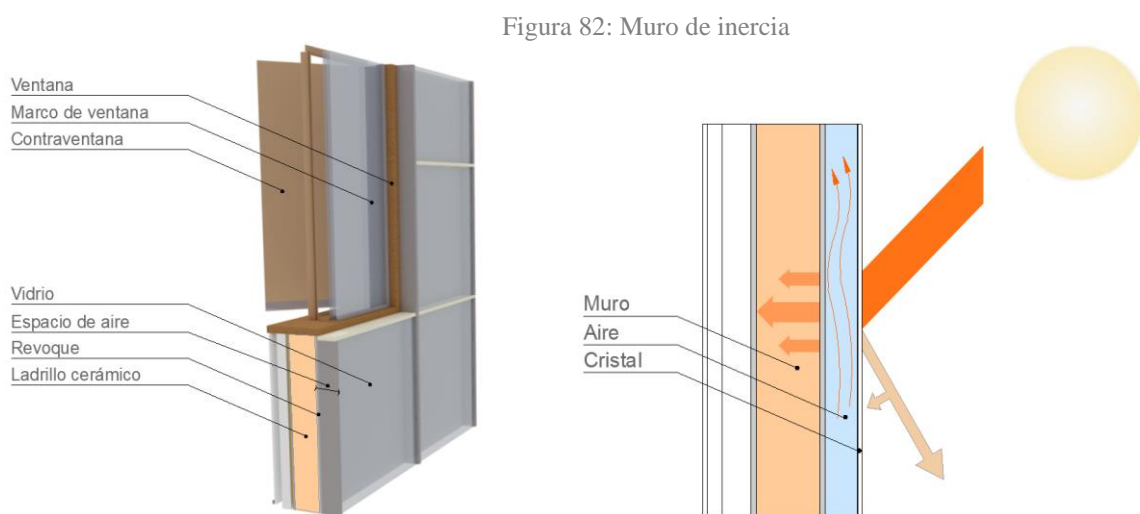
<sup>8</sup> KESANA, plancha de esteras de Totorá.

artesanía y turismo 15%, regeneración natural 40% y sin utilizar 15% equivalente a 120.000 toneladas de totora no aprovechada. “En el año 2016 se registró 5.000 ha quemadas equivalente a 1 125.000 kesanas desperdiciadas”(PUCP, 2021). Según del estudio realizado por (AZA, 2016), donde toma como estudio probetas tipo B que consisten en caña entera de totora que fueron unidas de manera perpendicular y en capas que son superpuestas de manera alterna hasta formar un solo panel con la ayuda de una prensa neumática, mostrando buen resultado ante la facilidad del paso del aire entre 0,05 m/s a 0,07 m/s, capaces de resistir una fuerza máxima de 331 N/m.<sup>2</sup>. Estos paneles pueden ser colocados en una estructura de soporte en madera o metal de modo que contengan sujeto el material aislante Figura 81.



Fuente: (AZA, 2016 p.64)

**Sistema indirecto (Muro de inercia):** Como se describió en el Ítem 2.2.2 Tabla 13, ejemplo IV), el muro de inercia, también denominados muros solares o invernaderos, son cerramientos compuestos por una hoja interna con alta masa térmica y una hoja externa de vidrio, separadas entre sí por una cámara de aire de pequeño espesor, que actúa como colector solar debido al efecto invernadero.

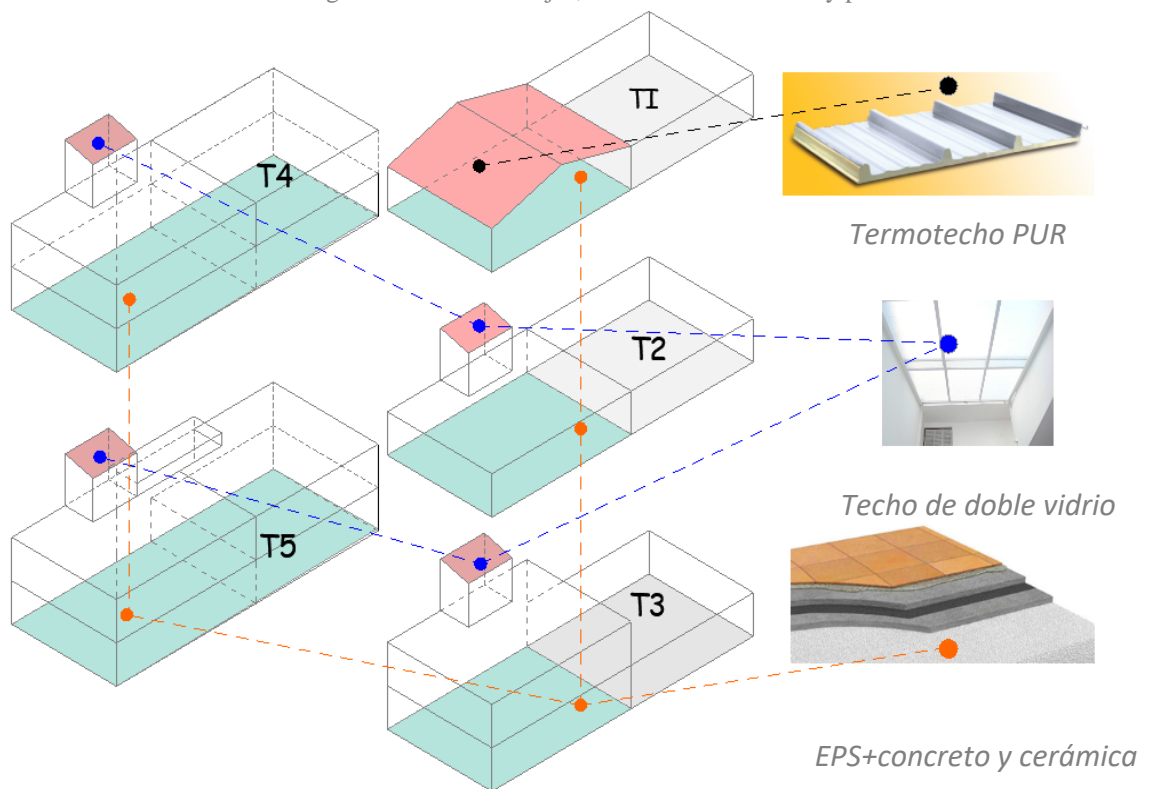


Fuente: Elaboración propia

Al igual que el muro trombe, presenta el inconveniente de dejar un muro ciego en fachada Norte (Hemisferio sur) Figura 82. Este sistema será empleado en el grupo de combinación MET 3+CS, la cámara de aire tendrá un espesor de 10 cm.

**Termotecho PUR, techo de doble vidrio:** El termotecho PUR se usará para las tipologías (T1 y T2), con un valor,  $U=0,57$  reemplazando la calamina. La cobertura también en calamina de la circulación a azotea se reemplazará por el techo de doble vidrio para el aprovechamiento de la radiación directa. Figura 83.

Figura 83: Variables fijas, intervención en techo y pisos



Fuente: Elaboración propia

**Sistema monolítico de EPS (Poliestireno expandido) y concreto + piso cerámico:** Se colocó este sistema para los pisos del primer nivel en todas las tipologías  $U=1,71$ . (Véase la Figura 83).

Se pudo verificar que muchos de los materiales de los proveedores en Perú no proveen de fichas técnicas con las características térmicas, por ello en adelante fueron usados los datos disponibles del Laboratorio de Eficiencia Energética en Edificaciones de Brasil; (LABEEE, 2018), el instituto valenciano de edificación (IVE, 2016) de España, y artículos realizados en la

zona Mesoandina y Altoandina del Perú, usando también algunas referencias sobre los valores térmicos de los componentes como muros, techo, pisos, puerta y ventanas, véase el (ANEXO 6).

**Permeabilidad del aire de las carpinterías y tasa de renovación:** Reducir las infiltraciones supone reducir la capacidad natural del edificio para ventilarse, no siendo la ventilación el eje de esta investigación, pero en la procura de motores naturales de ventilación, la cual está en función de la demanda del espacio, se tomaron en cuenta las exigencias de ventilación mínima para viviendas de acuerdo al Código Técnico de la Edificación de España. Véase la Figura 84, según ello se optó por mantener el valor por default del programa que recomienda 10 (l/s-person).

Figura 84: Valores límites para los caudales de ventilación exigidos por local de la vivienda

Caudal de Ventilación Mínimo Exigido ( l/s)			
Locales	Por Ocupante	Por m <sup>2</sup> útil	En función de otros parámetros
Dormitorios	5	-	-
Salas de Estar y Comedores	3	-	-
Baños y Cuartos de Aseos	-	-	15 por local
Cocinas	-	2 <sup>1</sup>	50 <sup>2</sup> por local
Bodegas	-	0.7	-
Almacenes de Residuos	-	10	-

<sup>1</sup> En cocinas con sistema de cocción por combustión o dotadas de calderas no estancas este caudal se incrementa en 8 l/s.

<sup>2</sup> Caudal correspondiente a la ventilación puntual específica de la cocina

Fuente: (FONDEF, 2016, p. 203)

Los Estados Miembros de la Unión Europea, en concordancia con la EPBD<sup>9</sup> (2021), han introducido diferentes requisitos para limitar la permeabilidad al aire de los edificios, es decir, garantizar un mínimo de hermeticidad de la envolvente. Para la propuesta de mejora se toma como referencia los estándares manejados por los países más desarrollados los cuales apuntan a

<sup>9</sup> EPBD, Energy performance of buildings directive.

disminuir el consumo energético y aumentar el confort por medio de la hermeticidad que recomiendan valores menores o iguales a (0,6 Vol/h) en el caso de las viviendas pasivas.

Dependiendo de las características climáticas, comportamiento del usuario que difieren país a país. En la Figura 85, se observa estándares de hermeticidad normalizados. Según Ossio et al. (2012, P.4 *apud* LIMB, 2001) “[...] se ha utilizado un volumen de construcción típico de 300 m<sup>3</sup> y una superficie de 250 m<sup>2</sup> normalizados a una presión de diferencia de 50 Pa”.

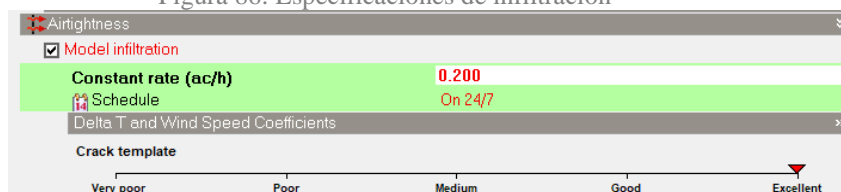
Figura 85: Estándares de hermeticidad para envolventes de viviendas normalizados a 50 Pa

País	Clasificación	Estándar normalizado a 50 Pa (Vol/h)
Alemania	Viviendas con Ventilación Natural	3,0
	Viviendas con Ventilación Mecánica	1,5
Austria	Viviendas con Ventilación Natural	3,0
	Viviendas con Ventilación Mecánica	1,5
Bélgica	Valor por defecto para el cálculo de demanda	10,0
	Viviendas Unifamiliares de Alta Estanqueidad	2,0
Bulgaria	Viviendas Unifamiliares de Media Estanqueidad	Entre 2,0 y 5,0
	Viviendas Unifamiliares de Baja Estanqueidad	Mayor a 5,0
	Edificios de Alta Estanqueidad	4,0
	Edificios de Media Estanqueidad	Entre 4,0 y 10,0
Eslovenia	Viviendas con Ventilación Natural	3,0
	Viviendas con Ventilación Mecánica	2,0
Estonia	Viviendas Pequeñas	5,0
	Viviendas de Gran Tamaño	2,5
Francia	Viviendas Unifamiliares	3,5
	Otros tipos de Viviendas	5,3
Letonia	Viviendas en General	2,5
	Viviendas con Ventilación Natural	3,0
Lituania	Viviendas con Ventilación Mecánica	1,5
	Viviendas en General	3,0
Noruega	Viviendas en General	0,6
	Viviendas en General	10,0

Fuente: (OSSIO; DE HERDE; VEAS, 2012, p. 7)

Las viviendas con ventilación natural tienden a tener un estándar de hermeticidad menos estricto, mientras que las viviendas con ventilación mecánica tienden a tener un estándar de hermeticidad más estricto que limitan las infiltraciones de aire. Se optó por configurar una tasa de renovación de 0,20 renovaciones por hora (AC/h) con un Crack template “Excellent”, procurando que las tipologías no presenten grietas y tengan un mejor desempeño.

Figura 86: Especificaciones de infiltración



Fuente: Captura de pantalla del programa *Design builder*



### c) Propiedades térmicas para adecuaciones

Se muestra en la Tabla 60 y Tabla 61, las adecuaciones realizadas para muro (consistente en un aislamiento interior de 12 cm), así como el detalle de composición en techo con la adecuación con el Termotecho y falso cielorraso aislado, de la misma forma se detalla la composición en piso consistente en la incorporación el EPS+Cerámico.

Tabla 60: Detalle de composición en muros

<p>Composición de muro en Lana de oveja:</p> <p>Compuesto por la madera de MDF de 1,2 cm, luego el aislante; Lana de oveja de 5.5 cm, el espacio de aire de 3.5 cm y la placa de yeso cartón de 1.8 cm.</p>	<p>Composición de muro en Ichu:</p> <p>Compuesto por la madera de MDF de 1,2 cm, luego el aislante; Ichu de 5.5 cm, el espacio de aire de 3.5 cm y la placa de yeso cartón de 1.8 cm.</p>	<p>Composición de muro en Totora:</p> <p>Compuesto por la madera de MDF de 1,2 cm, luego el aislante; Totora de 5.5 cm, el espacio de aire de 3.5 cm y la placa de yeso cartón de 1.8 cm.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 61: Adecuaciones en muro, techo y piso

	Composición muro	Composición techo	Composición piso
<p>T1 y T2</p>		<p>Termotecho PUR+Falso techo</p>	
<p>T3 , T4 y T5</p>		<p>Entrepiso aislado</p>	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 62, presenta las propiedades térmicas para la propuesta de mejora de las tipologías, para techo y pisos.

Las franjas marcadas en amarillo hacen notar la configuración adicional que se hace al componente, lo que produjo el valor U se modifique también. Estos valores fueron retirados del programa una vez realizada la configuración.

Tabla 62: Propiedades térmicas para adecuación

Componente	Composición	E (mm)	Conductividad	Densidad	Calor específico	Valor R	Valor U
			$\lambda$ w/m.K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (J/kgK)	R (m <sup>2</sup> k/W)	U (W/m <sup>2</sup> k)
<b>Techo:</b> Termotecho PUR espesor total: 3,5 cm	Acero zincalum+poliuretano rígido inyectado	35	-	-	-	1,89	0,57
<b>Techo</b> (Entrepiso): Espesor total: 33,8 cm	Contrapiso	50	1,150	2.000	1.000	0,0435	0,52
	Losa de concreto	50	1,150	2.000	1.000	0,0286	
	Ladrillo hueco de techo	120	0,440	720	800	-	
	Enlucido de yeso	30	0,350	900	870	0,0084	
	Lana de oveja	50	0,040	22	-	1,25	
	Cámara de aire	25	-	-	-	-	
	Placa de yeso cartón	13	0,35	750	840	0,051	
<b>Falso techo:</b> Espesor total: 8,8 cm	Lana de oveja	50	0,040	22	-	1,25	0,61
	Cámara de aire	25	-	-	-	-	
	Placa de yeso cartón	13	0,35	750	840	0,051	
<b>Piso</b> Espesor 22,75cm	<b>EPS:</b> Piso cerámico	7.5	1,05	2.000	1.000		1,71
	EPS+concreto	70	0,223	373	1.000		
	Contrapiso	50	1,150	2.000	1.000	0,0435	
	Concreto	100	1,75	2.200	1.000	0,0571	

Fuente: Elaboración propia en base a (AZA, 2016; IVE, 2016; PALOMO, 2017; PRECOR, 2019; THORPE, 2018)

Tabla 63, presenta las propiedades térmicas para las propuestas de mejora para muros, que irán a conformar las combinaciones MET 1, MET 2 y MET 3+CS descritas líneas anteriores.

Las franjas en amarillo denotan la incorporación del aislante propuesto en las 3 (tres) materialidades indicadas (Lana de oveja, Ichu y totora), los que serán adicionados al interior de la vivienda.



Tabla 63: Propiedades térmicas para adecuaciones

Componente	Composición	E (mm)	Conductividad	Densidad	Calor	Valor	Valor
			ad. $\lambda$ w/m.K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Específico C (J/kgK)	R (m <sup>2</sup> k/W)	U (W/m <sup>2</sup> k)
<b>Muro:</b> Panel en Lana de oveja Espesor total: 27,00 cm	Enlucido interno	12,5	0,720	1.860	1.200	-	0,50
	Ladrillo hueco tipo King Kong	125	0,470	1.045	800	-	
	Enlucido externo	12,5	0,720	1.860	1.200	-	
	Madera MDF	12	0,140	600	1.700	-	
	Lana de oveja	55	0,040	22	-	1,25	
	Cámara de aire	35	-	-	-	-	
	Placa de yeso cartón	18	0,35	750	840	0,051	
<b>Muro:</b> Panel de Ichu, espesor total: 27,00 cm	Enlucido interno	12,5	0,720	1.860	1.200	-	0,72
	Ladrillo hueco tipo King Kong	125	0,470	1.045	800	-	
	Enlucido externo	12,5	0,720	1.860	1.200	-	
	Madera MDF	12	0,140	600	1.700	-	
	Ichu	55	0,080	-	-	0,625	
	Cámara de aire	35	-	-	-	-	
	Placa de yeso cartón	18	0,35	750	840	0,051	
<b>Muro:</b> Panel de caña de totora Espesor total: 27,00 cm	Enlucido interno	12,5	0,720	1.860	1.200	-	0,95
	Ladrillo hueco tipo King Kong	125	0,470	1.045	800	-	
	Enlucido externo	12,5	0,720	1.860	1.200	-	
	Caña de totora entera	14,8	0,051	218	-	0,290	
	Cámara de aire	35	-	-	-	-	
	Placa de yeso cartón	18	0,35	750	840	0,051	

Fuente: Elaboración propia en base a (AZA, 2016; IVE, 2016; LABEEE, 2018; PALOMO, 2017; PRECOR, 2019; THORPE, 2018)

### ▪ Comparativa de propuestas de intervención

La Tabla 64, se presentan imágenes de las propuestas de intervención a modo de hacer una comparación de; el estado actual con las adecuaciones, MET1 y MET 2 y MET 3+CS, detallándose los materiales empleados en cada componente.

**Leyenda:**

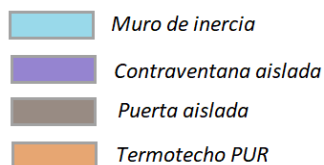
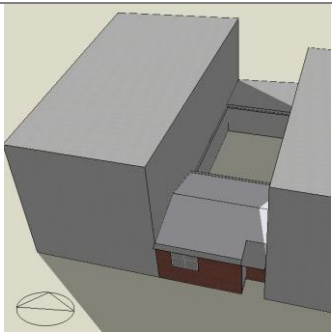
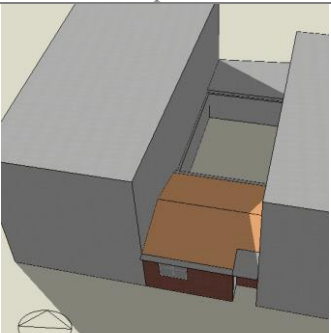
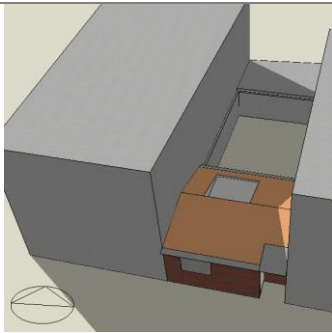
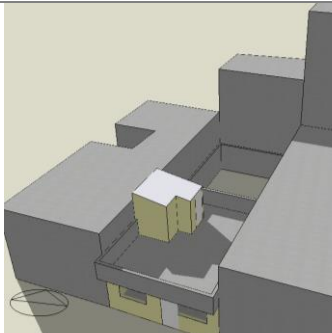
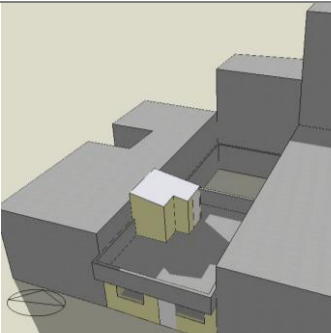
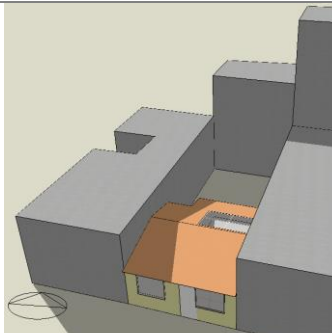
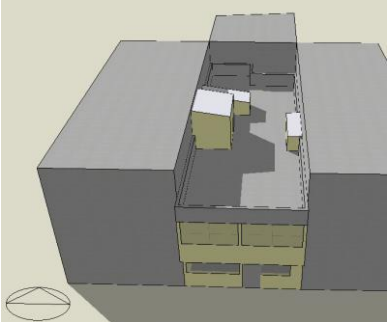
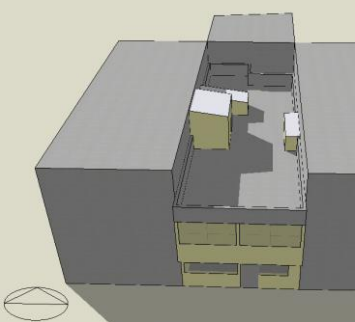
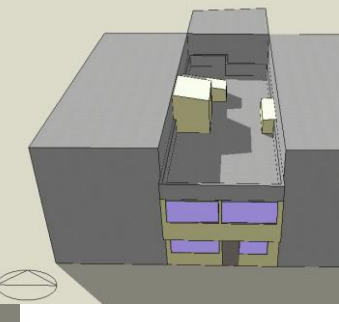
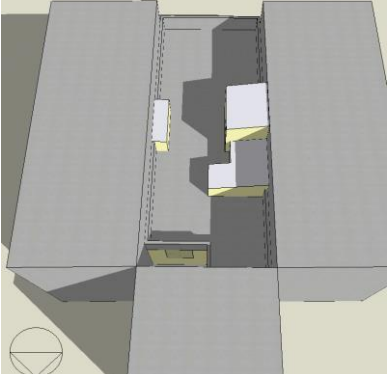
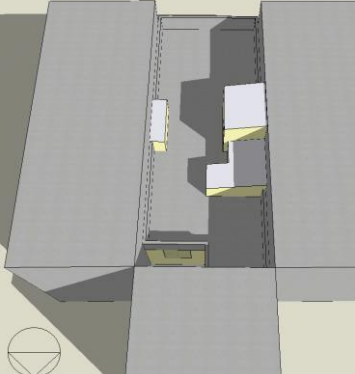
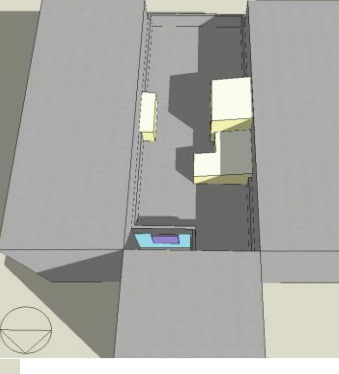


Tabla 64: Comparativa de adecuaciones

											
<b>T1</b>		Estado actual	Con MET 1, MET 2:		Con MET 3+CS						
<b>Aberturas:</b>		Vidrio simple	<b>Aberturas:</b> Vidrio simple y doble.		<b>Aberturas:</b> Vidrio doble, con contraventanas exteriores aisladas, puertas exteriores aisladas.						
<b>Muros:</b>		Ladrillo	<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).		<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).						
<b>Techo:</b>		Calamina	<b>Techo:</b> cambio en cobertura por termotecho PUR..		<b>Techo:</b> cambio en cobertura por termotecho PUR y CS (sistema directo por ventana cenital de 5,70m <sup>2</sup> ) con falso techo aislado.						
<b>Piso:</b>		Contrapiso	<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concret o+cerámica		<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concreto+cerámica						
											
<b>T2</b>		Estado actual	Con MET1, MET 2		Con MET 3+CS						
<b>Aberturas:</b>		Vidrio simple	<b>Aberturas:</b> Vidrio simple y doble.		<b>Aberturas:</b> Vidrio doble, con contraventanas exteriores aisladas, puertas aisladas.						
<b>Muros:</b>		Ladrillo	<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).		<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).						
<b>Techo:</b>		Concreto	<b>Techo:</b> Entrepiso aislado		<b>Techo:</b> cambio en cobertura por termotecho PUR y CS (sistema directo por ventana cenital de 6						

	<b>Piso:</b> Contrapiso de concreto	<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concret o+cerámica	m <sup>2</sup> ) con falso techo aislado y ventana interior. <b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concreto+cerámica
<b>T3</b>	<b>Estado actual</b>	<b>Con MET1, MET 2</b>	<b>Con MET 3+CS</b>
	<b>Aberturas:</b> Vidrio simple	<b>Aberturas:</b> Vidrio simple y doble.	<b>Aberturas:</b> Vidrio doble, con contraventanas aisladas, puertas aisladas.
	<b>Muros:</b> Ladrillo	<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).	<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).CS (indirecta) por muro de inercia en pared Norte.
	<b>Techo:</b> Concreto	<b>Techo:</b> Entrepiso aislado	<b>Techo:</b> Entrepiso aislado
	<b>Piso:</b> Contrapiso de concreto	<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concret o+cerámica	<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concreto+cerámica
<b>T4</b>	<b>Estado actual</b>	<b>Con MET1, MET 2</b>	<b>Con MET 3+CS</b>

	<b>Aberturas:</b> Vidrio simple	<b>Aberturas:</b> Vidrio simple y doble.	<b>Aberturas:</b> Vidrio doble, con contraventanas aisladas, puertas aisladas.
	<b>Muros:</b> Ladrillo	<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).	<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).CS (indirecta) por muro de inercia en pared norte.
	<b>Techo:</b> Concreto	<b>Techo:</b> Entrepiso aislado	<b>Techo:</b> Entrepiso aislado
	<b>Piso:</b> Contrapiso de concreto	<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concret o+cerámica	<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concreto+cerámica
			
			
<b>T5</b>	<b>Estado actual</b>	<b>Con MET1, MET 2</b>	<b>Con MET 3</b>
	<b>Aberturas:</b> Vidrio simple	<b>Aberturas:</b> Vidrio simple y doble.	<b>Aberturas:</b> Vidrio doble, con contraventanas aisladas, puertas aisladas.
	<b>Muros:</b> Ladrillo	<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).	<b>Muros:</b> Ladrillo+ Aislamiento (Lana, Ichu, totora).CS (indirecta) por muro de inercia en pared norte.
	<b>Techo:</b> Concreto	<b>Techo:</b> Entrepiso aislado	<b>Techo:</b> Entrepiso aislado
	<b>Piso:</b> Contrapiso de concreto	<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concret o+cerámica	<b>Piso:</b> Contrapiso/EPS+concreto+cerámica

Fuente: Elaboración propia

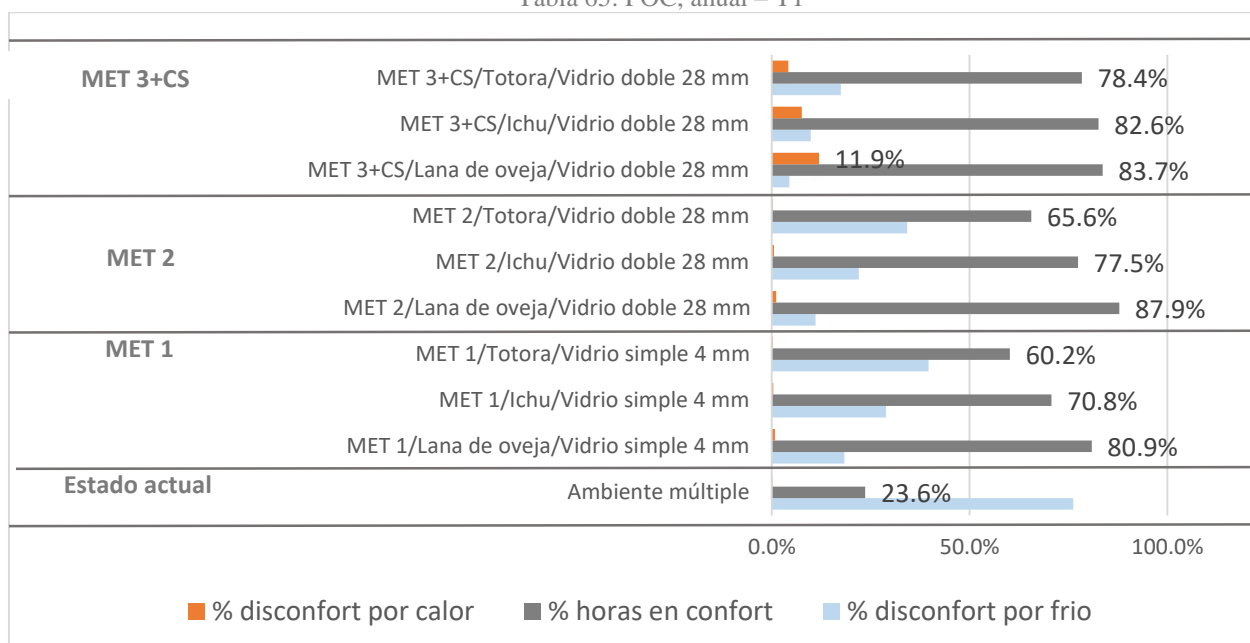
#### 4.4 Resultados de las simulaciones para las propuestas de mejora - intervenciones combinadas

Para esta parte se evalúan los POC y TO de acuerdo con los criterios de la ASHRAE 55-2017, para las combinaciones propuestas comparándolas con el estado actual para los resultados de las simulaciones en base anual como para el día típico de invierno. A seguir se presentan los resultados detallados para el caso T1 mientras que para las demás, se presentan resultados sintetizados. Los resultados completos pueden ser encontrados en el (ANEXO 8).

##### 4.4.1 Tipología T1 (T1)

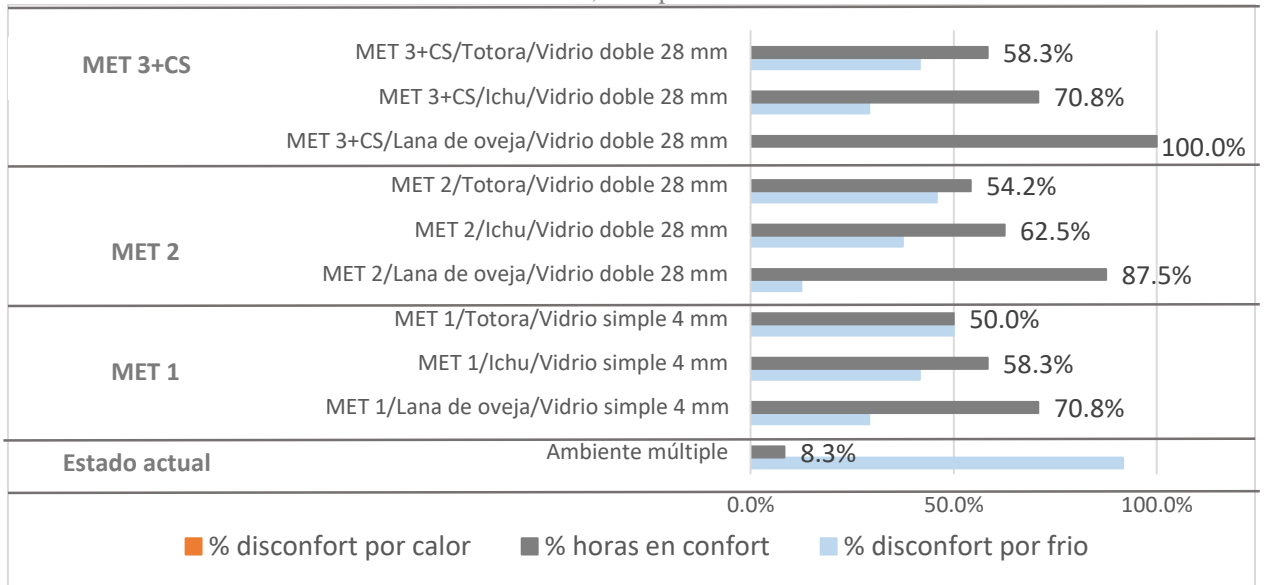
**POC - comportamiento anual y día típico:** Se observa que tanto anualmente como para el día típico en el ambiente múltiple presenta muy buenos porcentajes sobre todo para la combinación (MET 3+ CS) alcanzando hasta un 83,7% de confort anual y 11,9% de disconfort por calor Tabla 65. Respecto al día típico las tres combinaciones presentan también buenos valores resaltando también la tercera combinación (MET 3+ CS) con lana de oveja y aislamiento) que presenta el 100% de confort para el día típico. Véase la Tabla 66.

Tabla 65: POC, anual – T1



Fuente: Elaboración propia

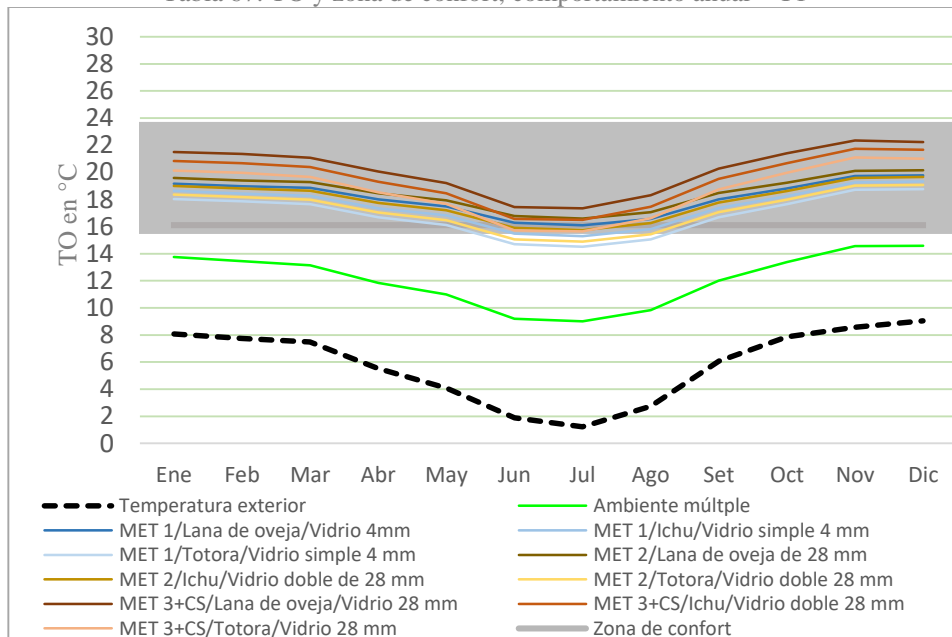
Tabla 66: POC, día típico de invierno – T1



Fuente: Elaboración propia

**TO, comportamiento anual y para el día típico:** Se observa en la Tabla 67 y Tabla 68, que para el ambiente múltiple después de los cambios propuestos. La combinación MET 1, MET 2, MET 3+CS, (entre los 16,9°C y 20,2°C), presentan temperaturas operativas anuales que se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad propuestos, sobre todo en los meses más cálidos, superando la TE y el estado actual.

Tabla 67: TO y zona de confort, comportamiento anual – T1



Fuente: Elaboración propia

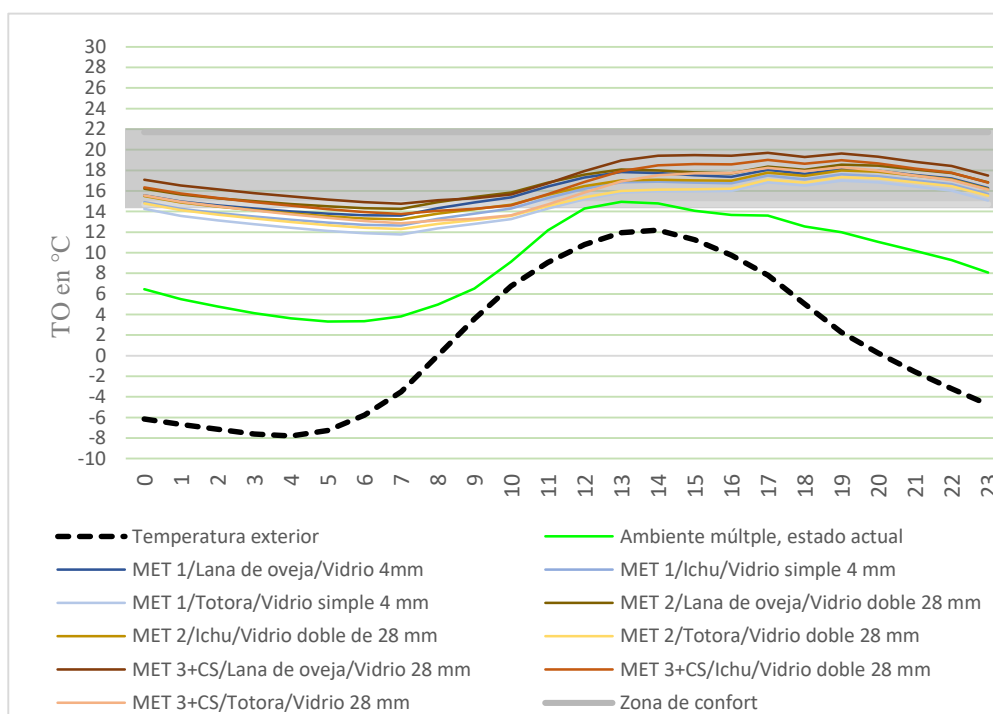
Tabla 68: TO, detallado mensual y promedio anual - T1

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3 +CS, Lana	MET 3 +CS, Ichu	MET 3 +CS, Totora
Ene	8,1	13,7	19,2	18,6	18,0	19,6	19,0	18,3	21,5	20,8	20,1
Feb	7,8	13,4	19,0	18,4	17,9	19,4	18,8	18,2	21,3	20,7	20,0
Mar	7,5	13,1	18,8	18,3	17,7	19,3	18,6	18,0	21,1	20,4	19,7
Abr	5,5	11,8	18,0	17,4	16,7	18,5	17,7	17,0	20,1	19,3	18,5
May	4,1	11,0	17,5	16,8	16,1	17,9	17,2	16,5	19,2	18,4	17,7
Jun	1,9	9,2	16,3	15,5	14,7	16,8	15,9	15,1	17,4	16,6	15,7
Jul	1,2	9,0	16,1	15,3	14,5	16,6	15,7	14,9	17,4	16,5	15,7
Ago	2,7	9,8	16,6	15,8	15,0	17,1	16,3	15,4	18,3	17,5	16,6
Set	6,1	12,0	18,0	17,4	16,7	18,5	17,8	17,0	20,3	19,5	18,7
Oct	7,9	13,4	18,8	18,2	17,7	19,2	18,6	18,0	21,4	20,7	20,0
Nov	8,6	14,6	19,7	19,3	18,7	20,1	19,6	19,0	22,4	21,7	21,1
Dic	9,0	14,6	19,8	19,3	18,8	20,2	19,7	19,1	22,2	21,7	21,0
Promedio	5,9	12,1	18,1	17,5	16,9	18,6	17,9	17,2	20,2	19,5	18,7

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico, véase la Tabla 69 todas las combinaciones presentan altos porcentajes dentro de los límites de aceptabilidad, mostrando a lo largo del día temperaturas interiores estables por encima de la exterior, sobre todo en horas de la madrugada y la noche.

Tabla 69: T1, TO comportamiento del día típico de invierno – T1



Fuente: Elaboración propia

Tabla 70: TO detallado comportamiento del día típico de invierno – T1

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	CS, Lana	CS, Ichu	CS, Totora
00:00	-6.2	6.4	15.6	14.9	14.3	16.2	15.5	14.8	17.1	16.3	15.6
01:00	-6.7	5.5	15.0	14.3	13.6	15.7	14.9	14.1	16.5	15.7	15.0
02:00	-7.1	4.8	14.6	13.9	13.1	15.3	14.5	13.7	16.1	15.3	14.5
03:00	-7.6	4.1	14.3	13.5	12.8	15.0	14.1	13.3	15.8	14.9	14.1
04:00	-7.8	3.6	14.0	13.2	12.4	14.7	13.8	13.0	15.5	14.6	13.7
05:00	-7.3	3.3	13.8	12.9	12.1	14.5	13.5	12.7	15.2	14.2	13.4
06:00	-5.8	3.3	13.6	12.7	11.9	14.3	13.3	12.4	14.9	14.0	13.1
07:00	-3.5	3.8	13.6	12.6	11.8	14.3	13.2	12.3	14.7	13.8	12.9
08:00	0.0	5.0	14.3	13.3	12.4	14.9	13.8	12.8	15.1	14.1	13.1
09:00	3.6	6.5	14.9	13.8	12.8	15.4	14.2	13.2	15.3	14.2	13.3
10:00	6.7	9.1	15.4	14.3	13.3	15.8	14.7	13.6	15.7	14.6	13.6
11:00	9.0	12.2	16.4	15.3	14.3	16.8	15.6	14.5	16.7	15.7	14.7
12:00	10.8	14.3	17.3	16.2	15.2	17.6	16.5	15.4	17.9	16.9	15.8
13:00	11.9	14.9	17.8	16.8	15.8	18.1	17.0	16.0	18.9	17.9	16.9
14:00	12.2	14.8	17.7	16.9	16.0	18.0	17.1	16.1	19.4	18.5	17.5
15:00	11.3	14.1	17.5	16.8	16.0	17.8	17.0	16.1	19.5	18.6	17.7
16:00	9.7	13.7	17.4	16.7	16.0	17.7	17.0	16.2	19.4	18.6	17.7
17:00	7.8	13.6	18.0	17.5	16.8	18.4	17.8	17.1	19.7	19.0	18.2
18:00	5.0	12.5	17.6	17.1	16.5	18.0	17.5	16.8	19.3	18.7	17.9
19:00	2.3	12.0	18.1	17.6	17.0	18.6	18.0	17.3	19.6	19.0	18.3
20:00	0.3	11.1	18.0	17.4	16.8	18.4	17.9	17.2	19.3	18.7	18.0
21:00	-1.5	10.2	17.6	17.0	16.4	18.1	17.5	16.8	18.8	18.2	17.5
22:00	-3.2	9.3	17.2	16.6	16.0	17.7	17.1	16.5	18.4	17.8	17.1
23:00	-4.8	8.1	16.3	15.7	15.1	16.8	16.2	15.5	17.5	16.8	16.1
Promedio	1.2	9.0	16.1	15.3	14.5	16.6	15.7	14.9	17.4	16.5	15.7

Fuente: Elaboración propia



### 4.4.2 Síntesis de los resultados – todas las tipologías y combinaciones de las intervenciones

Se presenta la síntesis de los resultados para las tres combinaciones por tipología. Respecto al POC representado con barras en cada casilla según el porcentaje, se observó que con respecto al estado actual que las adecuaciones propuestas incrementaron para todos los casos: Tabla 71, Tabla 72 y Tabla 73. La combinación que mejores resultados presenta es la combinación (MET 3+CS) mostrando inclusive desconfort por calor en algunas tipologías.

Tabla 71: POC de ambientes con adecuaciones para la combinación MET 3+CS

Combinación MET 3+ CS							
	Ambiente	POC anual			POC día típico		
		Frio	Confort	Calor	Frio	Confort	Calor
T1	Estado actual-ambiente múltiple	76.2%	23.6%	0.1%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3+CS/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	4.4%	83.7%	11.9%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/lchu/Vidrio doble 28 mm	9.8%	82.6%	7.6%	29.2%	70.8%	0.0%
	MET 3+CS/Totora/Vidrio doble 28 mm	17.4%	78.4%	4.2%	41.7%	58.3%	0.0%
T2	Estado actual-ambiente múltiple	91.9%	8.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3+CS/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	11.4%	87.1%	1.5%	20.8%	79.2%	0.0%
	MET 3+CS/lchu/Vidrio doble 28 mm	20.6%	78.9%	0.5%	41.7%	58.3%	0.0%
	MET 3+CS/Totora/Vidrio doble 28 mm	30.0%	69.8%	0.2%	50.0%	50.0%	0.0%
T3	Estado actual-ambiente múltiple	96.5%	3.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3+CS/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.0%	97.5%	2.5%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/lchu/Vidrio doble 28 mm	2.1%	97.5%	0.4%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/Totora/Vidrio doble 28 mm	16.4%	83.6%	0.0%	12.5%	87.5%	0.0%
	Estado actual-darmitorio Norte	87.7%	12.3%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3+CS/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.0%	97.5%	2.4%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/lchu/Vidrio doble 28 mm	0.4%	99.1%	0.5%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/Totora/Vidrio doble 28 mm	4.9%	95.0%	0.1%	0.0%	100.0%	0.0%
	Estado actual-darmitorio Sur	87.4%	12.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3+CS/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	1.6%	98.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/lchu/Vidrio doble 28 mm	12.8%	87.2%	0.0%	20.8%	79.2%	0.0%
	MET 3+CS/Totora/Vidrio doble 28 mm	28.2%	71.8%	0.0%	79.2%	20.8%	0.0%
T4	Estado actual-ambiente múltiple	98.5%	1.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3+CS/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.4%	99.1%	0.5%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/lchu/Vidrio doble 28 mm	5.2%	94.7%	0.1%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/Totora/Vidrio doble 28 mm	17.1%	82.9%	0.0%	41.7%	58.3%	0.0%
	Estado actual-darmitorio norte	92.4%	7.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3+CS/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.0%	79.3%	20.7%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/lchu/Vidrio doble 28 mm	0.0%	96.5%	3.4%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/Totora/Vidrio doble 28 mm	0.7%	98.8%	0.5%	0.0%	100.0%	0.0%
	Estado actual-darmitorio sur	90.7%	9.3%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3+CS/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	1.9%	97.2%	0.8%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3+CS/lchu/Vidrio doble 28 mm	13.6%	86.4%	0.1%	29.2%	70.8%	0.0%
	MET 3+CS/Totora/Vidrio doble 28 mm	27.2%	72.8%	0.0%	83.3%	16.7%	0.0%
T5	Estado actual-ambiente múltiple	88.9%	11.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3/lchu/Vidrio doble 28 mm	0.1%	99.9%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3/Totora/Vidrio doble 28 mm	4.7%	95.3%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
	Estado actual-darmitorio norte	97.4%	2.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	11.6%	88.3%	0.0%	25.0%	75.0%	0.0%
	MET 3/lchu/Vidrio doble 28 mm	29.7%	70.3%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3/Totora/Vidrio doble 28 mm	50.4%	49.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	Estado actual-darmitorio sur	87.1%	12.9%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 3/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.0%	66.5%	33.5%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3/lchu/Vidrio doble 28 mm	0.4%	89.1%	10.5%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 3/Totora/Vidrio doble 28 mm	4.6%	93.8%	1.6%	0.0%	100.0%	0.0%

Fuente: Elaboración propia

La combinación MET 2, muestra POC de forma comparativa con el estado actual de cada ambiente de cada tipología. Para esta combinación se observa que también incremento el POC para cada ambiente, siendo el desconfort por calor en 0,0 % en la mayoría de los ambientes.

Tabla 72: POC de ambientes con adecuaciones para la combinación MET 2

Combinación MET 2							
	Ambiente	POC anual			POC día típico		
		Frio	Confort	Calor	Frio	Confort	Calor
T1	Estado actual-ambiente múltiple	76.2%	23.6%	0.1%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	11.0%	87.9%	1.1%	12.5%	87.5%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	22.0%	77.5%	0.5%	37.5%	62.5%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	34.2%	65.6%	0.2%	45.8%	54.2%	0.0%
T2	Estado actual-ambiente múltiple	91.9%	8.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	44.0%	55.9%	0.1%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	57.1%	42.9%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	67.7%	32.3%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
T3	Estado actual-ambiente múltiple	96.5%	3.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.1%	97.0%	2.8%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	5.3%	94.2%	0.5%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	22.2%	77.7%	0.1%	16.7%	83.3%	0.0%
	Estado actual-dormitorio Norte	87.7%	12.3%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.1%	98.9%	1.1%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	3.8%	96.0%	0.2%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	16.0%	84.0%	0.0%	20.8%	79.2%	0.0%
	Estado actual-dormitorio Sur	87.4%	12.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	8.2%	91.8%	0.0%	20.8%	79.2%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	22.6%	77.4%	0.0%	66.7%	33.3%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	36.3%	63.7%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
T4	Estado actual-Ambiente múltiple	98.5%	1.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	33.6%	66.4%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	48.5%	51.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	63.9%	36.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	Estado actual-dormitorio norte	92.4%	7.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	0.5%	99.0%	0.4%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	7.9%	92.1%	0.0%	8.3%	91.7%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	23.8%	76.2%	0.0%	58.3%	41.7%	0.0%
	Estado actual-dormitorio sur	90.7%	9.3%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	1.9%	97.2%	0.8%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	13.6%	86.4%	0.1%	29.2%	70.8%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	27.2%	72.8%	0.0%	83.3%	16.7%	0.0%
T5	Estado actual-ambiente múltiple	88.9%	11.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	6.4%	93.6%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	25.8%	74.2%	0.0%	58.3%	41.7%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	49.1%	50.9%	0.0%	91.7%	8.3%	0.0%
	Estado actual-dormitorio norte	97.4%	2.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	61.8%	38.2%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	78.9%	21.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	88.8%	11.2%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	Estado actual-dormitorio sur	87.1%	12.9%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Lana de oveja/Vidrio doble 28 mm	9.6%	85.2%	5.2%	16.7%	83.3%	0.0%
	MET 2/lchu/Vidrio doble 28 mm	22.4%	76.1%	1.4%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 2/Totora/Vidrio doble 28 mm	34.0%	65.7%	0.3%	100.0%	0.0%	0.0%

Fuente: Elaboración propia

Para la combinación MET 1, se observa que en el estado actual predomina el desconfort por frío y según las variables incrementa de forma progresiva.

Tabla 73: POC de ambientes con adecuaciones para la combinación MET 1

Combinación MET 1							
	Ambiente	POC anual			POC día típico		
		Frio	Confort	Calor	Frio	Confort	Calor
T1	Estado actual-ambiente múltiple	76.2%	23.6%	0.1%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	18.3%	80.9%	0.8%	29.2%	70.8%	0.0%
	MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	28.9%	70.8%	0.4%	41.7%	58.3%	0.0%
	MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	39.6%	60.2%	0.2%	50.0%	50.0%	0.0%
T2	Estado actual-ambiente múltiple	91.9%	8.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	52.4%	47.5%	0.1%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	63.2%	36.8%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	71.8%	28.2%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
T3	Estado actual-ambiente múltiple	96.5%	3.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	1.8%	96.2%	2.0%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	13.0%	86.5%	0.4%	4.2%	95.8%	0.0%
	MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	33.3%	66.5%	0.1%	29.2%	70.8%	0.0%
	Estado actual-dormitorio Norte	87.7%	12.3%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	2.5%	96.3%	1.1%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	12.1%	87.7%	0.2%	8.3%	91.7%	0.0%
	MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	27.2%	72.7%	0.0%	29.2%	70.8%	0.0%
	Estado actual-dormitorio Sur	87.4%	12.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	22.7%	77.3%	0.0%	54.2%	45.8%	0.0%
T4	Estado actual-Ambiente múltiple	98.5%	1.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	38.4%	61.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	53.4%	46.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	67.9%	32.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	Estado actual-dormitorio norte	92.4%	7.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	2.4%	97.5%	0.1%	0.0%	100.0%	0.0%
	MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	12.8%	87.2%	0.0%	20.8%	79.2%	0.0%
	MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	29.0%	71.0%	0.0%	87.5%	12.5%	0.0%
	Estado actual-dormitorio sur	90.7%	9.3%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	1.9%	97.2%	0.8%	0.0%	100.0%	0.0%
T5	Estado actual-ambiente múltiple	88.9%	11.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	16.3%	83.7%	0.0%	33.3%	66.7%	0.0%
	MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	38.6%	61.4%	0.0%	79.2%	20.8%	0.0%
	MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	58.6%	41.4%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	Estado actual-dormitorio norte	97.4%	2.6%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	68.9%	31.1%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	82.5%	17.5%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	90.6%	9.4%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	Estado actual-dormitorio sur	87.1%	12.9%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%
	MET 1/Lana de oveja/Vidrio simple 4mm	21.8%	75.1%	3.1%	87.5%	12.5%	0.0%
MET 1/lchu/Vidrio simple 4mm	33.4%	65.7%	0.9%	100.0%	0.0%	0.0%	
MET 1/Totora/Vidrio simple 4mm	43.9%	53.8%	0.3%	100.0%	0.0%	0.0%	

Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

## 4.5 Discusión y conclusiones respecto a resultados del análisis de las adecuaciones propuestas

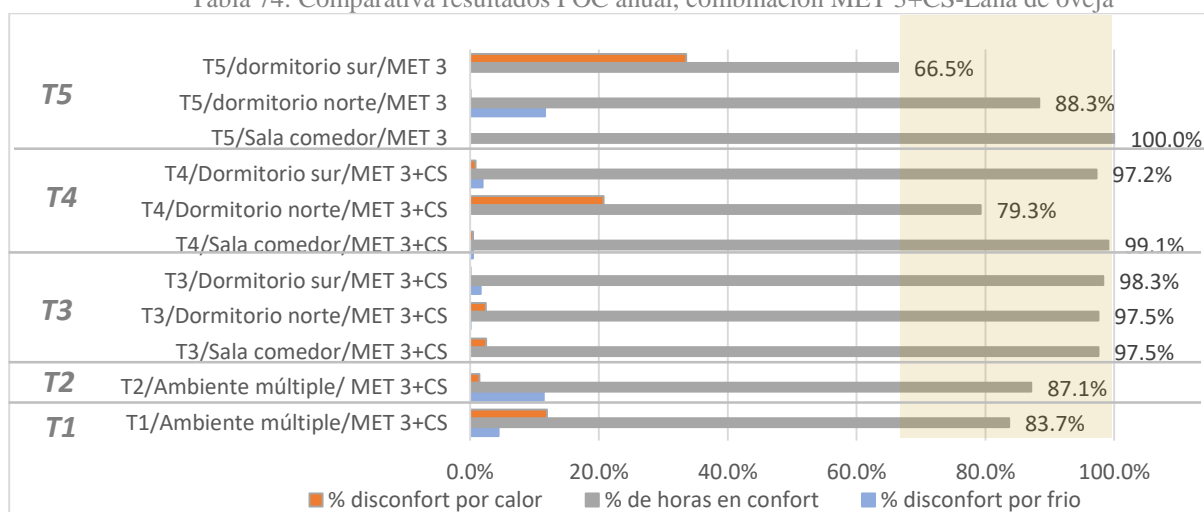
### 4.5.1 Mejores resultados obtenidos de las adecuaciones propuestas – intervenciones combinadas

De los tres grupos de combinaciones simulados, el que mejor comportamiento presenta fue (MET 3+CS). Esta combinación presento mejores resultados con respecto a las otras debido a la mejora de la envolvente térmica (EnT) destacando el aislamiento en muros y el aislamiento en puertas y ventanas y a la inclusión de calefacción solar (CS) por medio de un muro de inercia y ventana cenital, cuestión que normalmente no se usa en las tipologías presentadas.

En adelante se mostrarán los POC de esta combinación para las tipologías analizadas, separándolas por su materialidad, es decir, por un lado, los resultados con lana de oveja, por otro los resultados con el material en Ichu y finalmente los de Totora.

**MET 3 – lana de oveja (POC, Resultado anual y día típico):** Analizando los resultados anuales de las cinco tipologías presentadas considerando los menores valores de grados hora en porcentaje de frío se observa que la combinación *MET 3/lana de oveja con vidrio doble de 28 mm* está en los mejores resultados para todos los ambientes, logrando alcanzar entre 66,5% al 100% de confort anual, (Tabla 74).

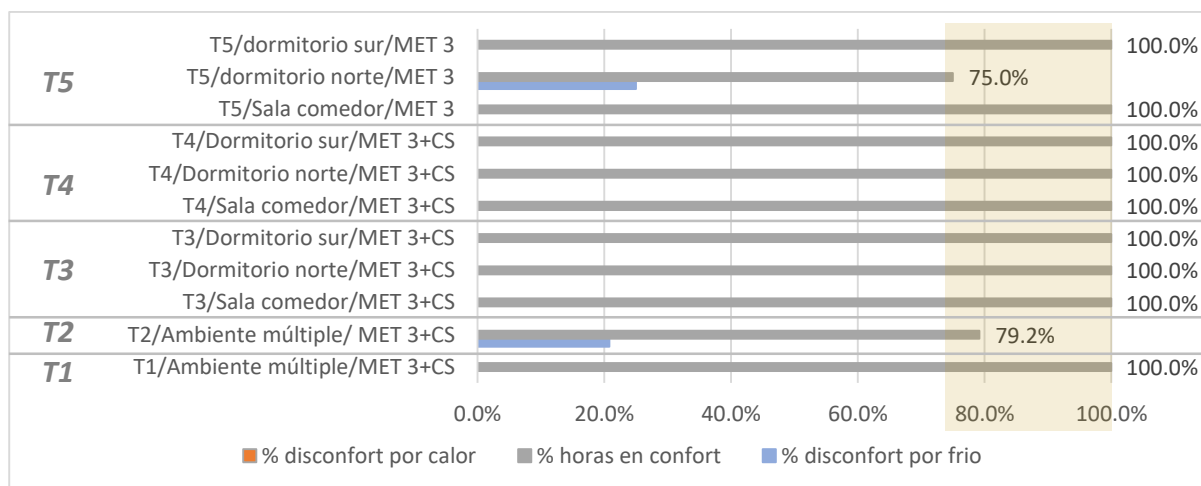
Tabla 74: Comparativa resultados POC anual, combinación MET 3+CS-Lana de oveja



Fuente: Elaboración propia

Lo mismo sucede para el día típico de las cinco tipologías; la combinación MET 3/ Lana de oveja/ Vidrio doble de 28 mm presenta un rango entre 75 y 100% de confort Tabla 75.

Tabla 75: Comparativa resultados POC día típico, combinación MET 3+CS-Lana de oveja



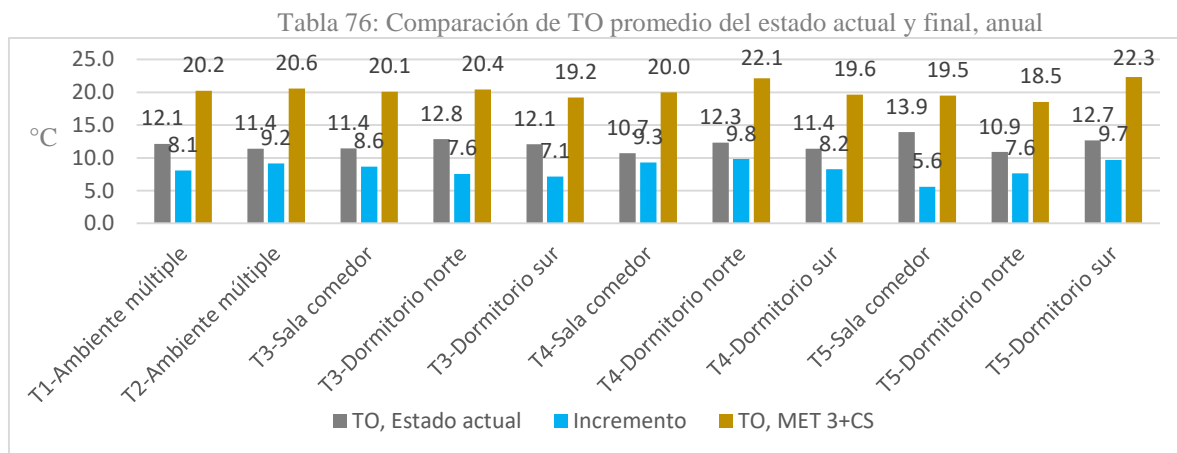
Fuente: Elaboración propia

**TO – lana de oveja, Resultado anual y día típico:** Analizando los resultados anuales de las cinco tipologías y sus ambientes de permanencia con respecto a la TO; se observa que la combinación “MET 3/lana de oveja con vidrio doble de 28 mm” está en los mejores resultados para todos los ambientes logrando alcanzar un incremento en la TO con respecto al estado actual como sigue. Véase Tabla 76:

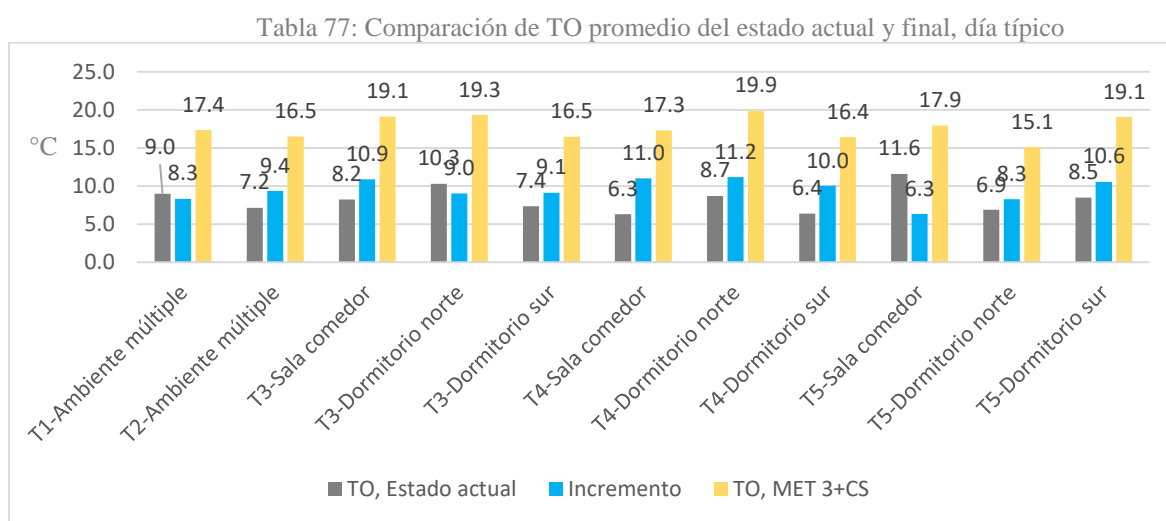
- T1 (ambiente múltiple), incremento 8,1 °C con respecto a su estado actual 12,1 °C.
- T2 (ambiente múltiple), incremento 9,2 °C con a su estado actual 11,4 °C.
- T3 (Sala-comedor), incremento 8,6 °C con a su estado actual 11,4 °C.
- T3 (Dormitorio Norte), incremento 7,6 °C con a su estado actual 12,8 °C.
- T3 (Dormitorio Sur), incremento 7,1 °C con a su estado actual 12,1 °C.
- T4 (Sala-comedor), incremento 9,3 °C con a su estado actual 10,7 °C.
- T4 (Dormitorio Norte), incremento 9,8 °C con a su estado actual 12,3 °C.
- T4 (Dormitorio Sur), incremento 8,2 °C con a su estado actual 11,4 °C.
- T5 (Sala comedor), incremento 5,6 °C con a su estado actual 13,9 °C.
- T5 (Dormitorio Norte), incremento 7,6 °C con a su estado actual 10,9 °C.

-T5 (Dormitorio Sur), incremento 9,7 °C con a su estado actual 12,7 °C.

Se podría decir que se produjo en promedio anual Tabla 76 un incremento de 8,1 °C para todos los ambientes de permanencia prolongada de las tipologías (T1-T5); así como 9.5 °C para el día típico Tabla 77.



Fuente: Elaboración propia

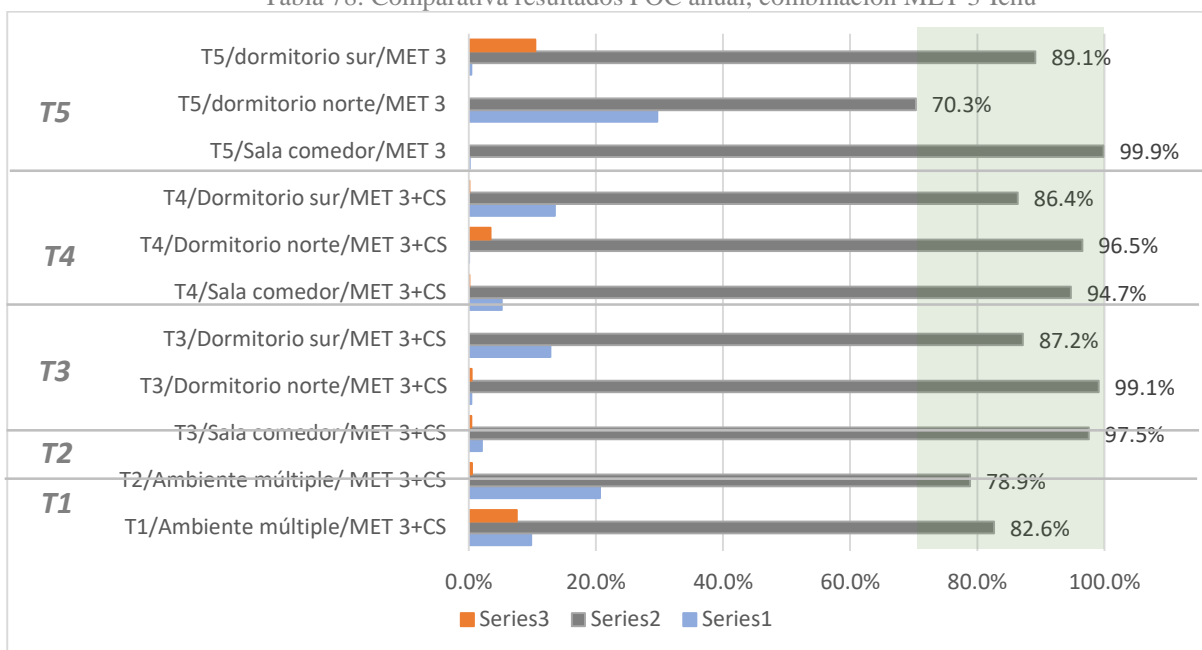


Fuente: Elaboración propia

**MET 3+CS - Ichu (POC, Resultado anual y día típico):** Analizando los resultados anuales de las cinco tipologías presentadas considerando los menores valores de grados hora en porcentaje de frío se observa que la combinación “MET 3/Ichu con vidrio doble de 28 mm” presenta también buenos resultados para todos los ambientes logrando alcanzar un confort entre 70.3% al 99,9%. Véase la Tabla 78.



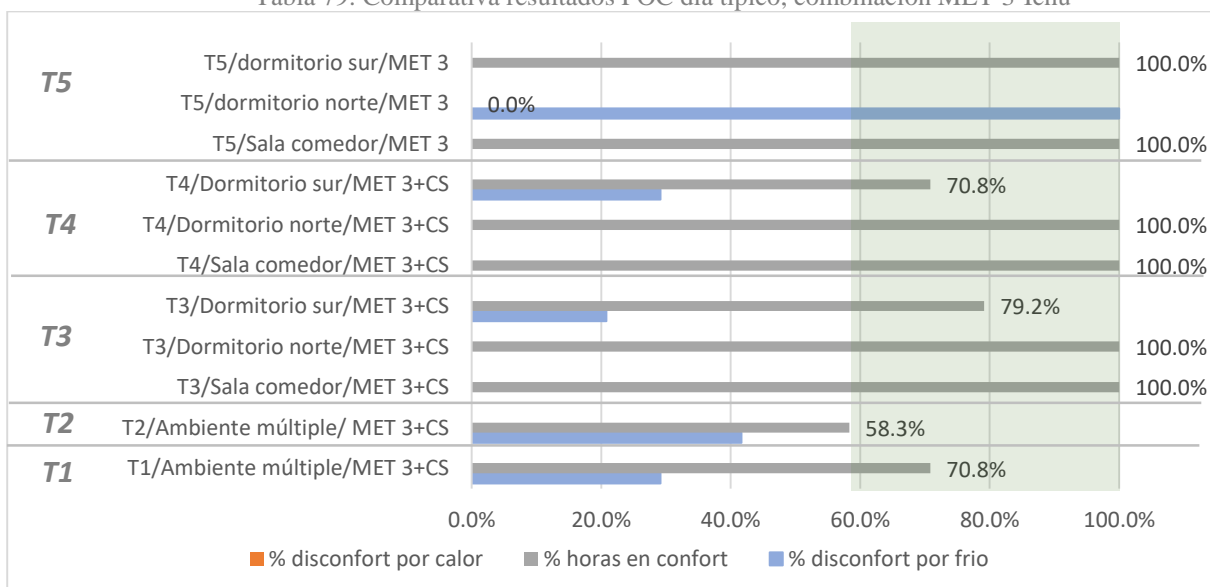
Tabla 78: Comparativa resultados POC anual, combinación MET 3-Ichu



Fuente: Elaboración propia

Y para el día típico entre un 58,3% al 100% de confort para todas las tipologías analizadas puesto que algunos ambientes no consiguieron ingresar entrar en los límites, como la T5 con el dormitorio Norte debido a su ventana orientada al este Tabla 79.

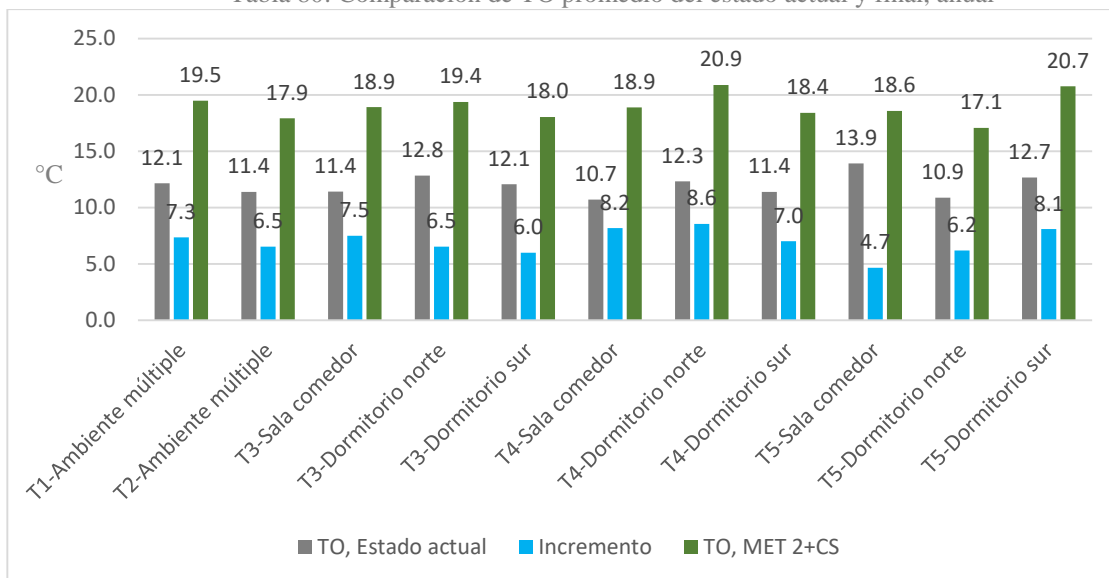
Tabla 79: Comparativa resultados POC día típico, combinación MET 3-Ichu



Fuente: Elaboración propia

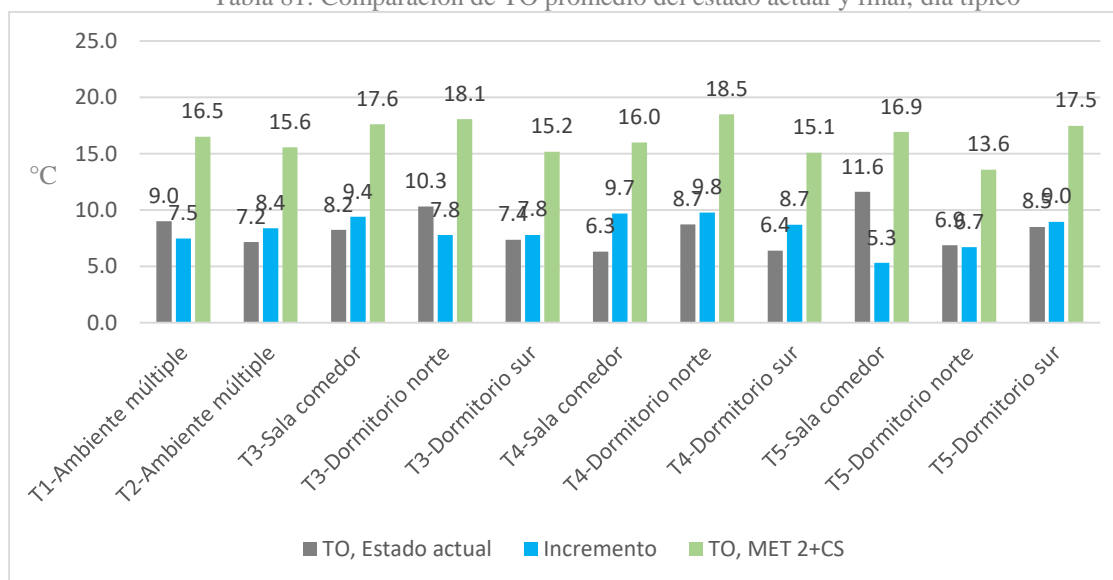
**TO - Ichu, Resultado anual y día típico:** La combinación *MET 3/Ichu con vidrio doble de 28 mm* para todos los ambientes alcanzó un incremento en la TO promedio anual de 6,8 °C en promedio Tabla 80 y 8,2°C para el día típico Tabla 81:

Tabla 80: Comparación de TO promedio del estado actual y final, anual



Fuente: Elaboración propia

Tabla 81: Comparación de TO promedio del estado actual y final, día típico



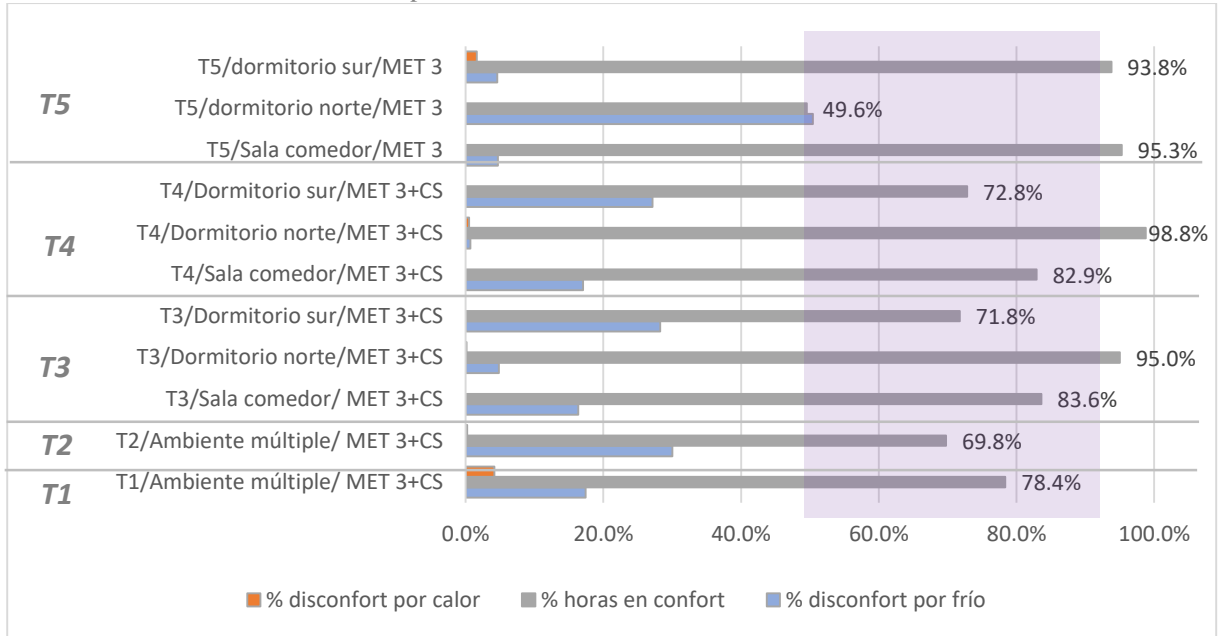
Fuente: Elaboración propia

**POC - Totorá, Resultado anual y día típico:** La combinación *MET 3/Totorá con vidrio doble de 28 mm* ofreció los mejores resultados para todos los ambientes alcanzó 49,6% al 98,8%



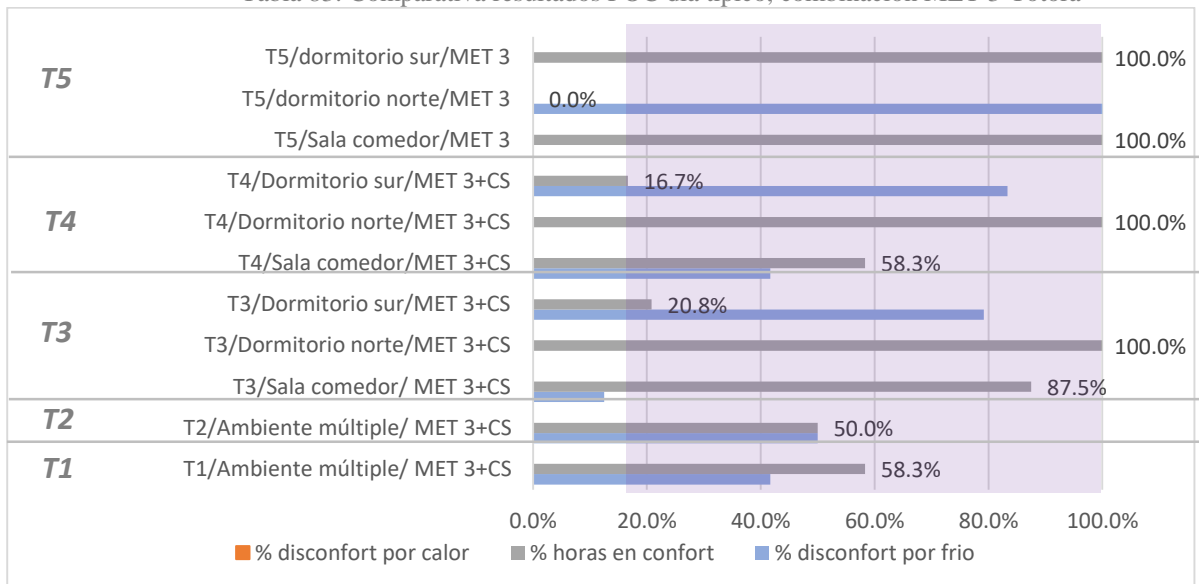
de confort anual y disconfort de calor para el dormitorio Sur Tabla 82 y para el día típico entre un 16,7% al 100% de confort para todas las tipologías analizadas Tabla 83.

Tabla 82: Comparativa resultados POC anual, combinación MET 3-Totora



Fuente: Elaboración propia

Tabla 83: Comparativa resultados POC día típico, combinación MET 3-Totora

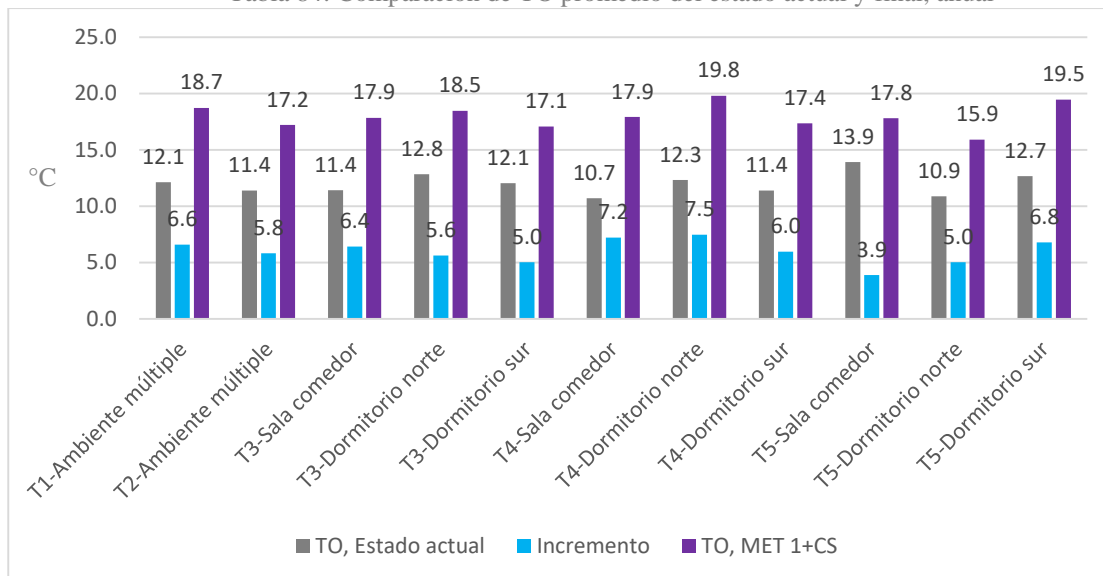


Fuente: Elaboración propia

**TO - Totora, Resultado anual y día típico:** En este caso se observa que; para la combinación *MET 3/Totora con vidrio doble de 28 mm* alcanzó un incremento en la TO

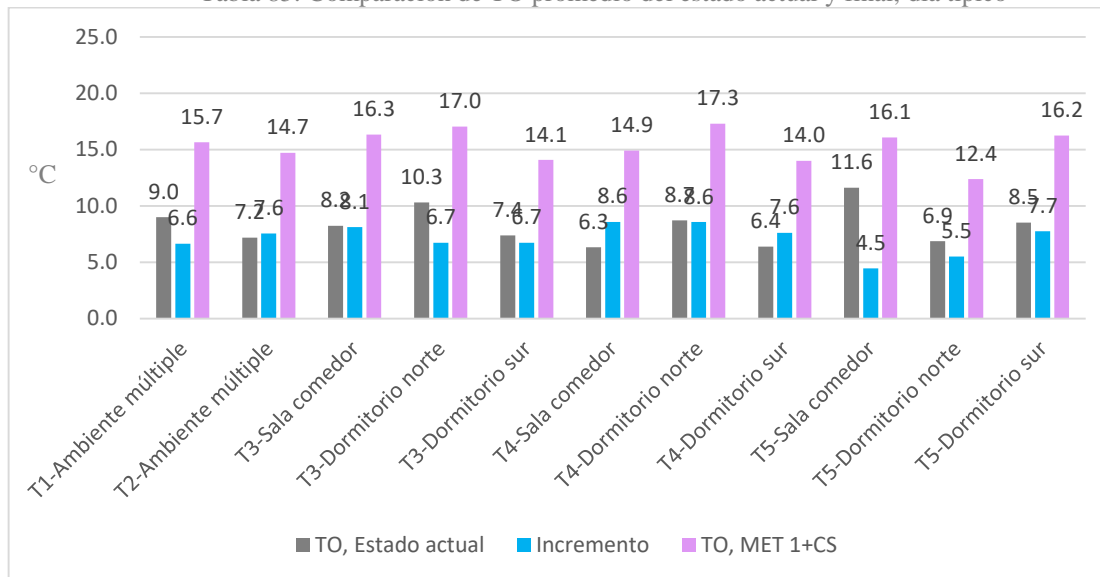
promedio anual de 5,9°C en promedio de incremento para todas las tipologías y 7,1°C para para el día típico Tabla 84 y Tabla 85.

Tabla 84: Comparación de TO promedio del estado actual y final, anual



Fuente: Elaboración propia

Tabla 85: Comparación de TO promedio del estado actual y final, día típico



Fuente: Elaboración propia

#### **4.5.2 Discusiones acerca de los resultados de las mejores propuestas**

Después de analizar las comparaciones de los cambios propuestos con respecto al estado actual, se ponen en manifiesto los siguientes aspectos:

**-Acerca de la conservación de energía:** Era esperada a través del aislamiento en los muros para las tres combinaciones propuestas. En cuanto a la mejora de la envolvente térmica (MET 1, MET 2 y MET 3), disminuyó la pérdida de calor cuando se empleó en los muros exteriores de las tipologías, sin embargo, lo que se constató es que después de haber adicionado los aislamientos estos funcionaron mejor tanto en los meses cálidos (enero, febrero, marzo, setiembre, noviembre, diciembre), como también en los meses más fríos como son junio y julio (en los casos donde los ambientes recibían radiación solar). Por otra parte, cabe recalcar que estos aislamientos disminuyeron en cierta medida el área de los ambientes internos, más aún se optó por esta solución para evitar deterioros en el material (lana de oveja, Ichu y totora), por agentes externos (lluvia). Los materiales autóctonos presentaron excelentes resultados con destaque en la incorporación de la lana de oveja, seguido por el Ichu y finalmente la Totorá en ese orden.

**-Acerca de los acristalamientos:** Se observó una disminución de las pérdidas de calor a través del acristalamiento y su carpintería en todas las tipologías, en general los cambios ayudaron en el desempeño térmico incrementando los porcentajes de horas ocupadas en confort. El uso de un doble acristalamiento permitió conservar la energía ganada. Según el cuadro de valores unitarios de edificación para la sierra del MCVS (2020, p. 33), el precio por m<sup>2</sup> de un acristalamiento simple con marco de aluminio y vidrio tratado transparente bordea los S/.84,12 (\$22,90) y el vidrio doble con marco de aluminio pesado y vidrio insulado por metro cuadrado, bordea los S/. 222,14 (\$60,47), los costes se triplican.

**-Permeabilidad de aire en las carpinterías:** La reducción de 1,00 a 0,20 AC/h en infiltraciones determinadas por las características de hermeticidad de la envolvente ayudó a cerrar el ciclo de la conservación de la energía. Se entiende que el valor utilizado sea de difícil realización para VIS, pero se evidencia la importancia de buscar que estas edificaciones sean tan herméticas cuanto sea posible.

**-Orientación solar:** Se observó un aumento en el confort en aquellos ambientes que

tenían orientación Norte y acceso a la radiación solar directa, debido a la ganancia solar.

Por consiguiente, la combinación que mejor se comportó, tanto anualmente como para el día típico del mes de julio fue la MET 3+CS. Con eso se vio exitosa la estrategia por aumentar la inercia térmica de la envoltoria, con ella se ha conseguido alcanzar una combinación de materiales que permitieron mantener TO interiores constantes, tanto de madrugada como de noche, cuestión inversa a lo que se encontró en su estado actual. Se entiende que esta combinación extrema las intervenciones, y podría ser de difícil realización en VIS, sin embargo, indicando claramente el camino a ser utilizado para obtener mejores prestaciones térmicas. Del punto de vista de las estrategias de mejora térmica:

Se debe iniciar con la utilización de la calefacción solar (CS), favorecer el acceso solar - eso debe ser preocupación de los urbanistas en la planificación de nuevos barrios y de la misma forma en la remodelación de los existentes, a través del control de las alturas de las edificaciones, distancia entre lotes, etc. Una vez agotada esta posibilidad y analizada la posibilidad de adecuar sistemas de calefacción preferentemente por techos por tener mejor eficacia, o en muros se deberá analizar las estrategias de mejora de la envolvente térmica (EnT) por muros, techos y pisos, así como el aislamiento de las ventanas y la utilización de contraventanas. Para finalmente incrementar la hermeticidad de la vivienda, Queda evidente también que, en la mayoría de los casos, la obtención de confort térmico necesariamente pasará por la adopción también de estrategias activas de calefacción, con o sin aporte adicional de energía para lo cual se recomienda los siguientes sistemas por ser de mejor acceso y coste:

- Sistema de calefacción solar activo por agua, para calefacción de agua caliente solar ACS por sistema simple por método indirecto; en donde los circuitos pueden estar equipados con tanques de almacenamiento, calentadores auxiliares u otros dispositivos de calefacción (incluidas bombas de calor) con sus sistemas de instrumentación y control. Con una única fuente de calor por un pequeño sistema hecho a medida.

- Sistema de calefacción activo por aire, para calefacción de ambientes por sistema simple y método directo; donde la energía captada por los colectores solares se suministra directamente a los consumidores sin circuitos intermedios. Con una única fuente de calor por un pequeño sistema hecho a medida.

#### 4.6 Recomendaciones para intervenciones en las Tipologías T1 a T5

Posterior a los resultados de las simulaciones se pudo llegar a recomendaciones para edificaciones y/o rehabilitación en la zona Mesoandina, para la mejora térmica de las viviendas. De lo que se puede indicar respecto a las tipologías analizadas existentes a las que se les realizó una rehabilitación constructiva haciendo uso de algunas estrategias según se vio por conveniente. Las tipologías analizadas se diferencian por el número de niveles lo cual impacta en el empleo de estrategias las viviendas de un nivel que presuponen el manejo más enfocado a la calefacción solar, pues la variable manifestó un mayor impacto en el confort interno además de que contaban con un patio que abre la posibilidad de reformas. Las viviendas de dos niveles se mostraron más dependientes de la mejora de la envolvente y la hermeticidad, se denota también que la tendencia de los propietarios es la de ocupar todo el lote por lo que se recomienda en estas tipologías el manejo de materiales aislantes en muros, todo ello enfocado en el confort interno.

El diseño de nuevas VIS implica que el módulo que se inserte sea resguardado por normativa para que permita su buen desempeño térmico. Esto quiere decir que para la zona Mesoandina es necesario normativa que defina el número de pisos en aquellos sectores destinadas a la vivienda social, pues si esto no es tomado en cuenta perjudicaría a los propietarios en la toma de decisiones al momento de rehabilitar o realizar una vivienda nueva. También es importantísimo el manejo de la orientación solar siendo estas viviendas configuradas con colindantes es importante el manejo del factor forma  $F/F$  y también tener en cuenta que si se densifica la posibilidad del acceso solar a los primeros niveles se hará más precaria, lo que conllevará a la inserción de sistemas activos de calefacción. De tener la posibilidad de plantear la configuración de los lotes a nivel urbano es recomendable una orientación E-O con cara Norte, el manejo de las manzanas que permitan el bloqueo de los vientos predominantes, sería recomendable un bloqueo del trazo lineal para evitar callejones de viento lo que permitirá un clima urbano más ameno.

**Para la tipología 1 (T1):** La intervención en esta tipología existente pensando en las recomendaciones según las estrategias estudiadas sería primeramente en la estrategia de calefacción solar (CS) por lo que se recomienda analizar de primera mano las posibilidades que tiene en este aspecto por lo que sería recomendable hacer un estudio solar y de sombras en el terreno para analizar qué posibilidades tiene y si es factible dicha intervención.

Posteriormente se recurriría a la estrategia de aislamiento térmico (EnT) en adición a la anterior como se señaló incidiendo en:

- Muros: debe contener un aislante, la que mostró el mejor desempeño fue la lana de oveja por lo que sería el más recomendable posteriormente puede usarse las otras alternativas como es el aislante en Ichu o Totorá en ese orden.
- Techo: es bastante común el uso masificado de la “calamina” por lo que si se va realizar una intervención en estas tipologías se recomienda que se emplee un techo de tipo sándwich como el que se sugirió en esta investigación (Termotecho PUR) pudiendo implementarse también otras alternativas como podría ser el uso de lana de oveja, procurando aislantes u otros materiales de bajo coste, que se encuentren en la zona. Adicionalmente se recomienda colocar un falso techo aislado con el fin de generar una cámara de aire y evitar la pérdida de calor pues esta tipología por ser de un piso genero mayor dificultad para calefaccionar considerando que se encuentra en un contexto donde se producen sombras, en cierta forma contraproducente pero también beneficioso puesto que estas edificaciones colindantes actúan como barreras de viento. Pues como se vio esta tipología queda bastante expuesta a la intemperie con menor eficacia con respecto a una vivienda de dos niveles.
- El manejo de contraventanas aisladas una alternativa es la presentada en esta investigación ya en la edificación sería recomendable acoplarla al interior de la casa de tipo puerta siempre con una configuración de tipo sándwich con un aislante intermedio.

Finalmente dependiendo del presupuesto que se maneje se incitaría a continuar adicionando más variables en relación al impacto térmico que favorezca las condiciones internas de esta tipología.

**Para la tipología 2 (T2):** La intervención en esta tipología existente pensando en las recomendaciones según las estrategias estudiadas sería primeramente en la estrategia de calefacción solar (CS) sea pos sistema directo o indirecto ya que esta tipología permite adecuaciones por poseer un patio posterior, por lo que se recomienda analizar de primera mano las posibilidades que tiene en este aspecto, dejar esta vivienda con una cobertura de concreto armado sería contraproducente pues hasta que no se realice la construcción de un segundo nivel estaría expuesta años en discomfort térmico considerando que la configuración de la misma no

incluye un tragaluz y que en algunos casos mantiene un hueco que contiene la caja de escaleras que va a la azotea lo que significa pérdidas para la vivienda. Por lo que se recomienda darle un acabado de techo y falso techo tal como la tipología 1 (T1), por ello se debe hacer un estudio solar y de sombras en el terreno.

Posteriormente se recurriría a la estrategia de aislamiento térmico (EnT) en adición a la anterior como se señaló incidiendo en:

- Muros: debe contener un aislante, la que mostró el mejor desempeño fue la lana de oveja por lo que sería el más recomendable posteriormente puede usarse las otras alternativas como es el aislante en Ichu o Totora en ese orden.
- Techo: se consideró adicionar a la configuración constructiva una capa de lana de oveja a la losa de concreto armado pudiendo implementarse también otras alternativas como podría ser el uso de totora que es bastante usado sobre todo en viviendas del sector rural recomendándose para ello un sistema en seco que permita su desmontaje pues periódicamente es necesario su cambio de ser el caso que presente algún deterioro. Esta tipología queda también expuesta como la T1 por lo que es necesario tanto en la rehabilitación como en la proyección de vivienda nueva aislar los techos
- El manejo de contraventanas aisladas en esta investigación se trabajó con un sándwich de triplay-lana de oveja-triplay logrando un valor  $U=0,64 \text{ W/m}^2\text{k}$ , con un espesor de 5,0 cm, lo que podría ser modificado en la búsqueda de materiales que resistan mejor a la intemperie, se recomienda su configuración al interior de la vivienda para evitar su deterioro por efectos de la lluvia.

Finalmente dependiendo del presupuesto que se maneje se incitaría a continuar adicionando más variables en relación al impacto térmico que favorezca las condiciones internas de esta tipología.

**Para la tipología 3 (T3):** La intervención en esta tipología existente pensando en las recomendaciones según las estrategias estudiadas sería primeramente en la estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT) esta tipología permite adecuaciones, al ser una vivienda de dos niveles y con acceso solar por patio fue la que mejor prestación térmica mostró con respecto a las demás tipologías por lo que su configuración en esta zona sería la más adecuada ya que guarda proporciones con respecto al terreno así como en altura, cabe indicar que también se

encuentra a expensas del crecimiento vertical de los vecinos colindantes.

Detallando esta estrategia sería como sigue:

- El manejo de contraventanas aisladas en esta investigación se trabajó con un sándwich de triplay-lana de oveja-triplay logrando un valor  $U=0,64 \text{ W/m}^2\text{k}$ , con un espesor de 5,0 cm, lo que podría ser modificado en la búsqueda de materiales que resistan mejor a la intemperie, se recomienda su configuración al interior de la vivienda para evitar su deterioro por efectos de la lluvia.
- Muros: recomienda se preste importancia a los muros perimetrales, para ello es necesario el manejo de aislantes, como se vio esta tipología presenta las mayores pérdidas por esta componente.
- Hermeticidad: El manejo de la hermeticidad en esta tipología se mostró importante, esto indicaría que para que esta vivienda conserve el calor ganado debe tener los marcos de las aberturas en buenas condiciones con el uso de sellos para evitar infiltraciones.

Finalmente dependiendo del presupuesto que se maneje se incitaría a continuar adicionando más variables en relación al impacto térmico que favorezca las condiciones internas de esta tipología.

**Para la tipología 4 (T4):** La intervención en esta tipología existente pensando en las recomendaciones sería según las estrategias estudiadas en primer lugar abordar la estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT). Esta tipología tiene limitadas posibilidades de adecuaciones, al ser una vivienda de dos niveles y con poco acceso solar por patio además de la tendencia a seguir creciendo de forma vertical, limita las posibilidades de intervención en techos por lo que el mejor camino sería trabajar en la envolvente y su aislamiento. El orden de intervención sería el mismo manejado en la tipología 3 (T3).

Detallando esta estrategia sería como sigue:

- El manejo de contraventanas aisladas al igual que en la tipología 3 (T3).
- Muros: recomienda se preste importancia a los muros perimetrales, para ello es necesario el manejo de aislantes, como se vio esta tipología presenta las mayores pérdidas por esta componente.



- **Hermeticidad:** El manejo de la hermeticidad en esta tipología se mostró importante, esto indicaría que para que esta vivienda conserve el calor ganado debe tener los marcos de las aberturas en buenas condiciones con el uso de sellos para evitar infiltraciones. El área de ventanas debería de ser proporcionada según necesidad de luz diaria en los espacios.

Finalmente dependiendo del presupuesto que se maneje se incitaría a continuar adicionando más variables en relación al impacto térmico que favorezca las condiciones internas de esta tipología.

**Para la tipología 5 (T5):** La intervención en esta tipología existente pensando en las recomendaciones sería según las estrategias estudiadas en primer lugar abordar la estrategia de mejora de la envolvente térmica (EnT). Esta tipología con respecto a las demás mencionadas es la que menos posibilidades de adecuaciones presenta, por no contar con un patio y el reducido acceso solar en orientación Norte, además de la tendencia a seguir creciendo de forma vertical, limita las posibilidades de intervención en techos por lo que el mejor camino sería trabajar en la envolvente y su aislamiento. El orden de intervención sería el mismo manejado en la tipología 3 (T3).

Detallando esta estrategia sería como sigue:

- El manejo de contraventanas aisladas al igual que en la tipología 3 (T3).

- **Muros:** recomienda se preste importancia a los muros perimetrales, para ello es necesario el manejo de aislantes, como se vio esta tipología presenta las mayores pérdidas por esta componente. Recomendándose como las tipologías anteriores el manejo de aislantes que permitan brindar inercia térmica al edificio.

- **Hermeticidad:** El manejo de la hermeticidad en esta tipología se mostró importante, esto indicaría que para que esta vivienda conserve el calor ganado debe tener los marcos de las aberturas en buenas condiciones con el uso de sellos para evitar infiltraciones. es importante el manejo de las carpinterías.

Finalmente dependiendo del presupuesto que se maneje se incitaría a continuar adicionando más variables en relación al impacto térmico que favorezca las condiciones internas de esta tipología.

## **PARTE V**

### **5 Conclusiones**

Esta investigación tuvo como objetivo principal analizar la introducción de estrategias pasivas de calentamiento para dotar de confort térmico a las VIS en la zona Mesoandina peruana. Los resultados del trabajo demostraron que la introducción de estrategias pasivas podría contribuir en incrementar notablemente el confort térmico de las tipologías estudiadas. A seguir se presentan las principales conclusiones de esta disertación:

a) Respecto a la revisión teórica, referente a la VIS en la zona Mesoandina, se resalta la falta de inclusión de aspectos cualitativos apuntando sobre todo al uso frecuente de sistemas constructivos no adecuados y materiales precarios, como también la falta de inclusión de estrategias, pues como se observó, presentan deficiencias y vulnerabilidad térmica lo que viene trayendo consigo pobreza energética. Respecto a la vivienda vernácula se destaca de los ejemplos mostrados que, valiéndose de estrategias como la conservación de la energía, aislamiento, compacidad entre otras variables con el objetivo de dotar de confort térmico al interior de la vivienda, los pobladores de esta zona lograron adecuarse al medio evidenciando la urgencia de rescatar estos conocimientos de antaño. Las estrategias bioclimáticas permiten beneficiarse del clima local, de acuerdo al uso equilibrado de los sistemas y variables aplicados de forma específica en el lugar, el manejo del recurso solar se hace indispensable en la zona Mesoandina, pues como se ha observado el ciclo bioclimático se ha asegurado sobre todo con la mejora de la envolvente térmica (EnT) y en adición la calefacción solar CS.

En lo que respecta al modelo de confort adaptativo adoptado principalmente por las acciones comportamentales para mantenerse en un estado de comodidad térmica, apoyándose del estándar ASHRAE 55-2017 y las normativas nacionales e internacionales, sirvieron de base para la configuración de las propuestas de intervención, pues ayudaron en la delimitación del trabajo y la alineación del mismo con respecto a otros ejemplos de climas similares, pues se comparte los mismos parámetros.

También es importante señalar que el estándar ASHRAE 55-2017, indica que esta metodología no debería ser aplicada en situaciones en que la temperatura externa mínima sea menor de 10 °C o en que la temperatura máxima sea mayor que 33,5 °C. Pese a ello se la ha tomado como referente, en ausencia de estándares más adecuados. Por tanto, hay allí un vacío

para desenvolver las investigaciones en climatologías semejantes. Se observa que los estándares internacionales que regulan los límites de confort no pueden abarcar especialidades para cada tipo de clima, así como las preferencias de cada población, la aclimatación y sus expectativas cambian, por lo que es necesario determinar condiciones particulares para cada lugar.

b) En relación con el método utilizado, la estrategia de recolección de datos in situ para definir y elegir cinco tipologías representativas del recorte se ha mostrado acertada e indispensable, de forma que ha permitido comprender de un nivel macro a micro las variables influyentes en cada escala. La simulación en distintas fases de acercamiento a las mejores propuestas fue necesaria, puesto que hubo que barajar variables en la búsqueda de combinaciones de estrategias y materiales.

Las simulaciones se han realizado con el software *Design Builder (EnergyPlus 8.9)* para porcentual de horas ocupadas en confort (POC), temperatura operativa (TO) y la identificación de las pérdidas térmicas, tanto anualmente como para el día típico de invierno. Aunque se simularon las edificaciones completas, se ha decidido exhibir y analizar apenas los datos referentes a los ambientes de permanencia prolongada (habitaciones y salones de estar). Al hacer las evaluaciones de la situación actual de las tipologías representativas de VIS (T1 a T5) se observó con el criterio del estándar ASHRAE 55-2017, que el POC anual se mantienen entre 1,8% y 23,6%, la TO promedio entre 10,7 °C y 13,9 °C, no alcanzando el límite mínimo de confort durante todo el año.

c) En lo que toca a las propuestas de intervenciones combinadas, se han propuesto 3 (tres) combinaciones que contienen 9 (nueve) alternativas de intervención. denominadas MET 1, MET 2 y MET 3+CS, que presentaron resultados muy favorables de forma progresiva con aislamiento y calefacción solar, los cuales, conteniendo las variables fijas y alternadas en muros, techo y piso, además de la permeabilidad del aire permitieron mostrar las alternativas de intervención señaladas. Para el aislamiento se ha decidido usar materiales autóctonos como: la lana de oveja, el Ichu y la totora, los cuales se presentan como buenos aislantes térmicos, por su disponibilidad en la zona de estudio además de los beneficios socioculturales, ambientales y económicos.

d) Respecto a los resultados de la evaluación de la situación de las viviendas actualmente existentes, se ha podido constatar lo que se intuía y conocía por experiencia propia. En las cinco tipologías (T1-T5) enunciadas se hace imprescindible darle la debida atención a la envolvente

térmica, por la importancia que tiene la pared exterior para evitar pérdidas de calor, ya que como se muestra en los resultados, las ganancias internas (equipamientos, ocupación y cocina) no están bien aprovechadas debido a las pérdidas de calor se dan a través del envoltorio y ventilación, principalmente por paredes y techos. En todos los casos analizados se observó que inexistente el desconfort por calor, estando siempre entre 0,0% y 0,1%.

e) Con relación a las propuestas de intervención respecto al estado inicial, se logró incrementar el porcentual de horas ocupadas en confort (POC). Es así que para la mejor combinación con lana de oveja MET 3+CS, se obtuvo una franja entre 66,5% a un 100% de confort anual y entre un 75% y 100% de confort para el día típico como rango máximo para todas las tipologías analizadas. Siendo en promedio para todas las tipologías un incremento en un 80,9% en base anual y 95% para el día típico de invierno, esto se traduce en un aumento promedio diario en la temperatura operativa (TO) de 8,1 °C anualmente y 9,5 °C para el día típico. Por ello se puede decir con base en los resultados, se han demostrado efectivas las estrategias elegidas (mejora de la envolvente térmica y calefacción solar por sistema directo e indirecto) y las combinaciones de materiales, con énfasis en la combinación MET 3+CS (que incluyo aislamiento en puertas y contraventanas con lana de oveja, un muro de inercia con orientación Norte y ventana cenital), como intervenciones ideales en este tipo de edificaciones y zona climática. Los resultados para el día típico de invierno fueron también satisfactorios pues en la mayoría de los casos se observó que se encontraban dentro de los límites de confort establecidos. La excepción se dio en algunos días de primavera donde se observó un ligero desconfort por calor. Es importante destacar que la variación entre un vidrio simple de cuatro milímetros a un vidrio doble con cámara de aire de veintiocho milímetros ejerció un alto impacto en el desempeño térmico, permitiendo mantener las ganancias internas, recalcando que este impacto dependió en gran medida del aislamiento en ventanas con contraventanas aisladas.

f) Los resultados obtenidos para las intervenciones propuestas están en concordancia con la bibliografía de referencia consultada, que sugieren y recomiendan los materiales tomados en esta investigación. Se concluye que las estrategias usadas como la mejora de la envolvente térmica (EnT) y calefacción solar (CS), sea por sistemas directos e indirectos, incrementaron la temperatura operativa como en los ejemplos de VIS de área rural mostradas. Los incrementos de temperatura después de las intervenciones propuestas confirman los resultados de esta investigación, concluyendo que en las VIS en área urbana de tipo cajón con colindantes, la utilización de estrategias pasivas podría contribuir eficazmente podría contribuir eficazmente

para la mejora térmica de las VIS analizadas, siempre que se combine más de una estrategia de acceso solar y mejora térmica.

## 5.1 Consideraciones finales

La demanda de vivienda en países en vías de desarrollo ha propiciado con frecuencia un inadecuado planteamiento de diseño con respecto al clima, lo mismo sucede en el contexto mesoandino peruano en donde la preocupación por el confort térmico es reciente. Debido al pequeño número de investigaciones y entidades que estén interesadas en el estudio, las que se deben orientar al desenvolvimiento de los proyectos de VIS en relación con la normativa peruana *EM. 110*, siguiendo las estrategias pasivas como un buen camino para proporcionar confort, lo que significa orientar los diseños hacia la sostenibilidad, no solamente para nuevos diseños sino también para adecuaciones en edificaciones existentes. En climas fríos como es Puno no se puede dejar de lado las estrategias pasivas, ya que ellas pueden colaborar para un buen desempeño térmico en las viviendas.

Sería adecuado el uso de técnicas usadas por los antepasados y el recogimiento de los materiales propios de la zona, un aspecto importante que ya existe en la memoria indígena. Pues a pesar de tener la materia prima, se resalta la falta de empresas que procesen los productos para ser empleados como aislantes en la edificación. Se trata de materiales con alta disponibilidad local, asequibles y de muy buenas propiedades térmicas para aislamiento, además de tener baja huella ecológica, esto animaría al gobierno a que adoptara políticas que faciliten el acceso a largo plazo a una vivienda asequible y en condiciones térmicas favorables, además de favorecer la economía regional.

El análisis cualitativo y cuantitativo de las soluciones bioclimáticas permitió mostrar que las variaciones de parámetros tienen grande influencia en el desempeño térmico, teniendo en cuenta que estas viviendas dependen en gran medida de la irradiación solar, las ganancias solares a través de los acristalamientos influyen directamente en el comportamiento térmico del ambiente, siendo el área de la apertura un parámetro relevante cuando se propone incrementar el confort interior. Se observó en el recorte urbano analizado una tendencia a ocupar la mayor cantidad posible de la parcela, de por sí pequeña, así como el aumento en su altura. Se trata de una situación preocupante pues ello implicaría un menor acceso a la irradiación solar. Lo que significaría en un futuro el empeoramiento de las ya precarias condiciones de confort. Y consecuente necesidad de utilización de alternativas como el uso de calefactores lo cual

generaría costes en la electricidad y gasto energético. El uso completo de terrenos viene generando la imposibilidad de hacer adecuaciones y mejoras en las temperaturas internas.

La introducción de estrategias pasivas y alternativas de sistemas constructivos para mejoras térmicas en las VIS debe continuar indagándose. Pues esta investigación aborda solo un set de tres materiales autóctonos propios de esta zona climática. Es necesario que nuestra normativa incluya más variedad de materiales con potencial de construcción, pues no se encuentran datos lo suficientemente detallados para su aplicación en proyectos regulados por organismos públicos. Así, podemos colaborar a evitar construcciones informales que favorecen el uso de materiales industriales “nobles”, como única alternativa para la construcción de proyectos de vivienda e infraestructura.

## **5.2 Sugerencias para investigaciones futuras**

Durante el trabajo se han ido identificando lagunas que se traducen en sugerencias a seguir para estudios futuros:

- Analizar estrategias pasivas específicas para otros contextos bioclimáticos delimitando por cada zona bioclimática.
- Realizar un análisis urbano de los parámetros que inciden en el confort interior como la orientación de las manzanas y de los lotes al momento de proponer la habilitación de viviendas nuevas.
- Realizar mayor cantidad de investigaciones in situ para determinar el desempeño térmico interior.
- Realizar evaluaciones experimentales de las propuestas de mejora mostradas en esta investigación, tras la implementación en situaciones reales.
- Analizar la viabilidad económica y manufactura de cada solución buscando sean accesibles a la población local y que cuenten con una gran capacidad de aislamiento.

## **5.3 Limitaciones del estudio**

De acuerdo al contexto trabajado se presentan algunas limitaciones:

- La falta de estudios previos de investigación sobre el tema en la zona Mesoandina y Altoandina del Perú.

-Falta de información sobre los componentes constructivos y características térmicas de las viviendas en la zona Mesoandina.

-No se cuenta con un archivo climático de la ciudad de Puno, por lo que se utilizaron de la ciudad más cercana como es, Juliaca.

-El análisis presentado de las viviendas de interés social se encuentran insertas con vecinos donde existe la posibilidad de que un edificio crezca en altura intempestivamente, la posibilidad de confiar de la ganancia solar directa limita y reduce las posibilidades de aplicación de una estrategia tan importante en la zona Mesoandina por lo que la necesidad de una normativa a nivel urbano es necesaria. Por otra parte, si cada unidad de vivienda crece en número de niveles, impide que la radiación llegue hasta los niveles más bajos provocando que los sistemas de captación directa e indirecta sean de poca ayuda limitando a la vivienda a la mejora de la envolvente y al uso de estrategias activas.

## 6 Referencias bibliográficas

ABNT. ABNT NBR 15220 **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 1–23, 2003.

AEVIVIENDA. **Agencia estatal de vivienda**. Disponible em: <<http://www.aevivienda.gob.bo/>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

AGENCIA AGRARIA. **Exportación de totora a Holanda**. Disponible em: <<https://agraria.pe/noticias/peru-iniciara-exportacion-de-totora-del-lago-9747>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

AKSOY, U. T.; INALLI, M. Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region. **Building and Environment**, v. 41, n. 12, p. 1742–1754, 2006.

ALJUMAR. **Contraventanas**. Disponible em: <<https://alumiocaceres.es/index.php/otros-servicios/contraventanas>>. Acesso em: 17 fev. 2021.

AMORIM, C. et al. **Avaliação da qualidade da habitação de interesse social-projetos urbanístico e arquitetônico e qualidade construtiva**. 1ª ed. Brasília, Brasil: UnB, Universidade de Brasília, 2011.

ANGUITA, A.; ARCO, J.; HIDALGO, D. **Study of thermal comfort in the classrooms of the Technical School of Building Engineering of the University of Granada**. v. 4, p. 55–64, 2018.

ANSI/ASHRAE 55. ANSI/ASHRAE Standard 55-2017: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **ASHRAE Inc.**, v. 2017, p. 66, 2017.

AQUISE, R.; HUARAYA, K. **Plan específico del sector Totorani 2015-2020, Ciudad de Puno**. [s.l.] Universidad nacional del altiplano, 2017.

ARIZA, A. **Descripción y corrección de productos LANDSAT 8 LDCM**Bogota, ColombiaIGAC, , 2013.

ATHIENTIS, A. **Thermal analysis and design of passive solar buildings**. 1. ed. New York, USA: Earthscan, 2013.

AZA, L. **La totora como material de aislante térmico: potencialidades**. Barcelona, España: Universidad politécnica de Catalunya, 2016.

BHAMARE, D. K.; RATHOD, M. K.; BANERJEE, J. **Passive cooling techniques for building and their applicability in different climatic zones—The state of art**. **Energy and Buildings**, v. 198, p. 467–490, 2019.

BURGA, J. **Arquitectura vernácula peruana, un análisis tipológico**. 1ra Edició ed. Lima, Perú: Colegio de Arquitectos del Perú, 2010.

CALDERÓN, J. **Programas de vivienda social nueva y mercados de suelo urbano**



**en el Perú.** EURE pp. 27-47, p. 21, 2015.

CARE PERÚ. **Confort Térmico en Viviendas Altoandinas un enfoque integral.** **Comision europea de ayuda humanitaria**, p. 25, 2010.

CASTILLO, J. R. M. **Evaluacion bioclimatica de una vivienda rural altoandina de la comunidad de Ssan Francisco de Raymina de Ayacucho.** 2016.

CER- UNI. **Guia de construcción de viviendas térmicas.** Disponible em: <<https://www.facebook.com/watch/?v=1485010581538316>>. Acceso em: 18 jan. 2021.

CHARCA, S.; NOEL, J. **Assesments of Ichu fibers as non-thermal insulation system for the andean regions.** p. 42,43, 2015.

CHWIEDUK, D. **Solar energy in Building.** First edit ed. Amsterdam, 2014.

CLIMATE-DATA. **Puno clima (Perú).** Disponible em: <<https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru/puno/puno-1013/#climate-table>>. Acceso em: 1 jun. 2020.

CORRALES, M. **Sistema solar pasivo mas eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz.** Lima, Peru: Universidad Nacional de Ingenieria (UNI), 2012.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. S. **Developing an adaptative model of thermal comfort and preference.** UC Berkeley, p. 18, 1998.

DUBRAVKA, M. **Estrategias de diseño pasivo para ahorro energetico en edificación-Propuestas para disminución de demanda calorífica y frigorífica en clima continental templado.** Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, 2010.

EPBD. **Energy performance of buildings directive.** Disponible em: <<https://epb.center/documents/?title=>>. Acceso em: 17 jan. 2021.

ESPARZA, J. **Diseño de las instalaciones de una vivienda bioclimática.** Cartagena, Colombia: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.

FELMER, G.; BOBADILLA, M. **Caracterización de la pobreza energética derivada de la ineficiencia térmica del stock actual de viviendas en Chile.** México: 2018

FONCODES. **Mi abrigo.** Disponible em: <<http://www.foncodes.gob.pe/portal/index.php/proyectos/miabrigo>>. Acceso em: 30 jun. 2020.

FONDEF. **Manual de hermeticidad al aire de edificaciones.** Maureen Tr ed. [s.l: s.n.].

FONDO MIVIVIENDA. **Reporte vivienda social 2011-2016.** p. 69, 2016.

FONDO MIVIVIENDA. **Boletin estadistico del fondo MIVIVIENDA.** v. 2019, n. 18, p. 1-27, 2019.

FONDO MIVIVIENDA. **Revistas del fondo Mivivienda.** Disponible em: <<https://www.mivivienda.com.pe/portalweb/fondo-mivivienda/revistas.aspx>>.

FROTA, A. **Manual do conforto Térmico.** 2da. ed. Sao Paulo, Brazil: Estudio nobel, 1995.

GAISMA. **Sunrise, sunset, dawn and dusk times around the World**. Disponible em: <<https://www.gaisma.com/en/location/puno.html>>. Acesso em: 11 abr. 2020.

GAMARRA, V. L. **Edificaciones de tierra cruda: Putucos de Taraco, aportes tecnológicos y constructivos en la vivienda del altiplano peruano**. Arequipa, Peru: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2019.

GAMIO, A. **Comparación del sistema constructivo de Putucos con otros sistemas constructivos en tierra**. v. 3, p. 1–8, 2017.

GARCIA, R. **Pobreza energética en America Latina**. Disponible em: <[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36661/1/S2014039\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36661/1/S2014039_es.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2019.

GARCILÓPEZ, J.; JIMÉNEZ, M. **Evaluación de las infiltraciones en la edificación y aplicación al edificio del Solar Decathlon**. 2010.

GHAVAMI, KHOSROW; HERRERA, P. **Non conventional materials and technologies**. 1ra. ed. USA: Materials Research Proceedings, 2018.

GODOY, A. **El confort térmico adaptativo Aplicación en la edificación en España**. Barcelona, España: Universidad Pölitécnica de Cataluña, 2012.

GONZALO, G. E. **Arquitectura Bioclimática**. Argentina: Dirección laboral: Director del instituto de acondicionamiento ambiental, facultad de arquitectura y urbanismo, universidad nacional de Tucumán, 2004.

GRALA DA CUNHA, E. **Elementos de arquitetura de climatização natural**. 2da. ed. Rio grande do sul, Brasil: MASQUATRO, 2005.

GROUP, C. C. & I. D. **WORLD MAPS OF KÖPPEN-GEIGER CLIMATE CLASSIFICATION**. Disponible em: <<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/usa.htm>>.

GRUPO DE APOYO AL SECTOR RURAL. **K'ONICHUYAWASI - Casitas Calientes**. Disponible em: <<https://gruporural.pucp.edu.pe/proyecto/casa-caliente-limpia-konichuyawasi/>>. Acesso em: 18 jan. 2021.

HARRIES, KENT, S. B. **Non conventional and vernacular construction materials**. USA: Woodhead Publishing, 2016.

HARVEY, D. **A green Vitruvius, principles and practice of sustainable architectural design**. 1ra. ed. USA: Routledge, 1999.

HAYMES-LÓPEZ, F. V.; PELÁEZ-CRUZ-DEL-CASTILLO, E. F. **La obra de Enace, el epílogo de la vivienda social construida por el Estado**. Limaq, v. 0, n. 003, p. 129, 2017.

HEYWOOD, H. **101 Regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético**. 1ra edição ed. Brasil: Gustavo Gili, 2012.

IDIC. **Catalogo de arquitectura, movimiento moderno Perú-Unidad vecinal N°3**. Disponible em: <<http://cammp.ulima.edu.pe/edificios/unidad-vecinal-n3/>>. Acesso em: 20 jan. 2019.

INEI. **Sistema estadístico regional Puno**. Disponible em:

<[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1056/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1056/libro.pdf)>. Acceso em: 16 jan. 2019.

IRAM 11601. **Aislamiento térmico de edificios-Método de calculo**, 2004.

IVE. **Instituto valenciano de la edificación**. Disponível em: <<https://www.five.es/>>. Acesso em: 12 maio. 2020.

KALOGIROU, S. **Engenharia de Energia Solar Processos e Sistemas**. 2da. ed. United States: Elsevier, 2014.

LABEEE. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Journal of Chemical Information and Modeling, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2018.

LAKES ENVIRONMENTAL. **Wind Rose Plots for Meteorological Data**. 2018.

LAMBERTS, R.; VECCHI, R. **Conforto e stress térmico**. Laboratório de Eficiência Energética, p. 144, 2016.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: Bioclimatologia e Desempenho Térmico**. Florianópolis, Brasil: UFSC, 2010. v. 3

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiencia energética na arquitetura**. 3 edição ed. Rio de Janeiro, Brasil: Eletrobras, Procel, 2014. v. 3

LIBERTUN DE DUREN, N. **La carga de la vivienda de interés social. Comparación entre hogares de la periferia y del centro en ciudades de Brasil, Colombia y México**. p. 33, 2017.

MANZANO, F.; MONTOYA, F.; SABIO, A. **Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015.

MARUSSI, F. **Arquitectura vernacular, Los Putucos de Puno**. 1ra. ed. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma, 1999.

MCVS. **Suplemento Materiales y Procesos. Aislamiento Termoacústico 2019. Lima-Perú**. Disponível em: <[https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/suplemento\\_thermoacustico\\_2019](https://issuu.com/construccionyvivienda/docs/suplemento_thermoacustico_2019)>. Acesso em: 2 fev. 2020.

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS; SENAMHI. **ATLAS DE ENERGÍA SOLAR. Proyecto PER/98/G31: Electrificación rural a base de energia fotovoltaica en el Perú**, p. 31, 2003.

MIRANDA, R. **Sustainability in vernacular architecture, the Putucos in Puno**. Unifé, v. 14, n. 1, p. 9, 2009.

MOLINAR, A. **Cold-Arid Deserts : Global Vernacular Framework for Passive Architectural Design**. 2017.

MONTERDE, M. A. **Guías de estrategias de diseño pasivo para la edificación**. In:

**INSTITUTO VALENCIANO DE LA EDIFICACIÓN (Ed.).** . Foro para la edificación sostenible de la comunitat Valenciana. 1ra. ed. España: IVE, 2014. p. 66.

**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE PUNO. Plan de desarrollo urbano 2012-2022, Puno-Perú.** p. 43, 2012.

**MVCS. EM. 110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética.** In: Reglamento nacional de edificaciones. [s.l.] Diario el Peruano, 2014. p. 50.

**MVCS. Valores Unitarios Oficiales de Edificación para las localidades de Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao, la Costa, la Sierra y la Selva, vigentes para el Ejercicio Fiscal 2020 y dictan diversas disposiciones.** p. 30–43, 2020.

**NEILA, J. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible.** Madrid: [s.n.].

**NICOL, J. F.; HUMPREYS, M. A. Adaptive thermal confort and sustainable thermal standard of buildigs.** Energy and buildings, v. 34, p. 563–572, 2002.

**OLGYAY, V. Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas.** 15va. ed. España: Gustavo Gili, 1998.

**ONEBUILDING. Repository of free climate data for building performance simulation.** Disponible em: [http://climate.onebuilding.org/WMO\\_Region\\_3\\_South\\_America/PER\\_Peru/index.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/PER_Peru/index.html). Acceso em: 24 set. 2020.

**OSSIO, F.; DE HERDE, A.; VEAS, L. Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile.** Revista de la Construcción, v. 11, n. 1, p. 54–63, 2012.

**OTHMAN, A. R. et al. Passive Design Toolkit: For Homes.** 1ra. ed. Vancouver: Matthew Roddis Urban Design, 2009. v. 222

**PALOMO, M. Aislantes térmicos: Criterios de selección por requisitos energéticos.** Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

**PÉREZ, A. L. Bases para el diseño de la vivienda de interés social: según las necesidades y expectativas de los usuarios.** 1ra. ed. Bogotá: CMYK SAS, 2013.

**PRADERAS DEL INKA. Proyecto nuevo crédito Mivivienda-Praderas del INKA.** Disponible em: <https://praderasdelinka.com/proyectos/>.

**PRASAD, Y. Improving thermal confort of residential buildings in Kathmandu-using passive design strategies.** United Kingdom: University of Liverpool for the degree of Master of Science in Sustainable Environmental Design in Architecture, 2014.

**PRECOR. Paneles aislantes PUR.** Disponible em: [https://s3.amazonaws.com/precor-storage/manual/thermotecho-tca-pur\\_1553363413.pdf](https://s3.amazonaws.com/precor-storage/manual/thermotecho-tca-pur_1553363413.pdf). Acceso em: 23 nov. 2020.

**PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS. Plan multisectorial ante heladas y friaje 2019-2021 Decreto Supremo N° 015Perú,** 2019.

**PROHABIT. Perlas del altiplano.** Disponible em: [https://www.facebook.com/constructoraprohabit/photos/?tab=album&ref=page\\_internal](https://www.facebook.com/constructoraprohabit/photos/?tab=album&ref=page_internal).

PROJECT UROS. **Islas de los Uros.** Disponível em: <<http://www.mmviatges.com/furgoenruta94-islas-de-los-uros>>. Acesso em: 25 abr. 2020.

PROJETEEE. **Global Environment Facility.** Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/componentes-construtivos/>>. Acesso em: 20 set. 2020.

PUCP. **Charla | Vivienda altoandina. Enfrentar las heladas con tecnologías constructivas ecológicas, bioclimáticas, sismorresistentes y materiales naturales locales.** Disponível em: <[https://educast.pucp.edu.pe/video/12312/charla\\_\\_vivienda\\_altoandina\\_enfrentar\\_las\\_heladas\\_con\\_tecnologias\\_constructivas\\_ecologicas\\_bioclimaticas\\_sismorresistentes\\_y\\_materiales\\_naturales\\_locales](https://educast.pucp.edu.pe/video/12312/charla__vivienda_altoandina_enfrentar_las_heladas_con_tecnologias_constructivas_ecologicas_bioclimaticas_sismorresistentes_y_materiales_naturales_locales)>. Acesso em: 14 maio. 2020.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis.** 1st. ed. New York, USA: Springer, 2006.

ROMERO, M. et al. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas.** 1ra. ed. Brasília, Brasil: Editora ETB, 2019.

SALAS, J. **Latinoamérica: Hambre de Vivienda.** Revista INVI, v. 17, n. 045, p. 58–69, 2002.

SANTA, R. **Iniciativa de vivienda saludable en el Perú.** Revista Perú Med. exp Salud pública, simposio ded salud mental, p. 12, 2018.

SARRACINA, A. **Producción de Vivienda de Interés Social (VIS). Impactos en el territorio.** v. 230, p. 153–164, 2015.

SERRA, RAFAEL; COCH, H. **Arquitectura y energia natural.** 1ra. ed. Barcelona: Servei de Publicacions de la UPC y CBS, 1995.

SERVIU. **Ministerio de vivienda y urbanismo.** Disponível em: <[http://www.serviu15.cl/opensite\\_det\\_20151020085227.aspx](http://www.serviu15.cl/opensite_det_20151020085227.aspx)>. Acesso em: 15 jan. 2020.

SOMOS. **Puno: la increíble isla flotante creada por la comunidad Chimu.** Disponível em: <<https://elcomercio.pe/somos/historias/como-construir-una-isla-flotante-y-el-sueno-que-cumplio-una-comunidad-de-puno-noticia/>>. Acesso em: 4 maio. 2019.

THE DECOLONIAL ATLAS. **The Andes from Space at Day.** Disponível em: <<https://decolonialatlas.wordpress.com/2017/11/19/surreal-images-of-earth-from-space/amp/>>.

THORPE, D. **Passive solar architecture pocket reference.** First edit ed. New york: Routledge, 2018. v. 53

UGUR, AVDAN; JOVANOVSKA, G. **Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data.** Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2016/1480307>>. Acesso em: 16 ago. 2020.

USGS. **Cience for a changing world.** Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

VAN, J. **Manual do arquiteto descalço.** 1ra Ed. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Blucher, Edgard, 2014.

VIÑUALES, G. M. **Arquitectura vernácula Iberoamericana**. In: VIÑUALES, G. M. (Ed.). . RedAVI. 1ra. ed. Sevilla: Red AVI. Arquitectura vernácula iberoamericana, 2013.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. **Thermal remote sensing of urban climates**. Remote Sensing of Environment 86. 2002.

WEATHER SPARK. **El clima promedio en Puno**. Disponible em: <<https://es.weatherspark.com/y/26593/Clima-promedio-en-Puno-Perú-durante-todo-el-año>>. Acceso em: 1 jun. 2020.

WEGERTSEDER, P.; MAUREEN, K. **Integration of performance criteria in the energy-environmental improvement of existing social housing in Chile**. Ambiente Construído 2015, v. 15, n. 2, p. 47–63, 2015.

WIESER-REY, M.; ONNIS, S.; MELI, G. **Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada Posibilidades de aplicación en el territorio peruano**. Revista de Arquitectura, v. 22, n. 1, 2019.

WIESER, M. **Consideraciones bioclimáticas en el diseño arquitectónico: el caso Peruano**. Arquitectura y Ciudad., v. Cuadernos, p. 93, 2008.

YANNAS, S. **Roof Cooling Techniques: A Design Handbook**. 1ra. ed. USA: Routledge, 2006.

ZHONGTING, H. et al. **A review on the application of Trombe wall system in buildings**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 70, n. December 2016, p. 976–987, 2017.

## 7 Anexos

### ANEXO 1

En la Figura 87, se muestra el cuadro de la norma *EM 110* peruana donde para cada departamento ubica sus provincias según su zona climática, véase la Figura 88, donde se muestra las características climáticas de cada zona.

Figura 87: Ubicación de provincias por zona bioclimática

UBICACIÓN DE PROVINCIAS POR ZONA BIOCLIMÁTICA									
Departamento	1 Desértico Marino	2 Desértico	3 Interandino Bajo	4 Mesoandino	5 Alto Andino	6 Nevado	7 Ceja de Montaña	8 Subtropical Húmedo	9 Tropical Húmedo
Puno				Sandía	Azángaro	Carabaya		San Antonio de Putina	
				Yunguyo	Carabaya	Chucuito		Sandía	
					Chucuito	El Collao			
					El Collao	Huancané			
					Huancané	Puno			
					Lampa	Yunguyo			
					Melgar				
					Moho				
				Puno					
				San Román					

Fuente: (MVCS, 2014)

Figura 88: Características climáticas de cada zona bioclimática

Características climáticas	ZONAS BIOCLIMÁTICAS DEL PERU								
	1 Desértico Costero	2 Desértico	3 Interandino Bajo	4 Mesoandino	5 Alto Andino	6 Nevado	7 Ceja de Montaña	8 Subtropical Húmedo	9 Tropical Húmedo
1 Temperatura media anual	18 a 19°C	24°C	20°C	12°C	6°C	< 0°C	25 a 28°C	22°C	22 a 30°C
2 Humedad relativa media	> 70%	50 a 70%	30 a 50%	30 a 50%	30 a 50%	30 a 50%	70 a 100%	70 a 100%	70 a 100%
3 Velocidad de viento	Norte: 5-11 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s	Norte: 5-11 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s	Norte: 4 m/s Centro: 6 m/s Sur: 5-7 m/s	Norte: 10 m/s Centro: 7,5 m/s Sur: 4 m/s Sur - Este : 7 m/s	Centro: 6 m/s Sur: 7 m/s Sur Este: 9 m/s	Centro: 7 m/s Sur: 7 m/s	Norte: 4-6 m/s Centro: 4-5 m/s Sur: 6-7 m/s	Norte: 5-7 m/s Este: 5-7 m/s Centro: 5 m/s	Este: 5-6 m/s Centro: 5 m/s
4 Dirección predominante del viento	S - SO - SE	S - SO - SE	S	S - SO - SE	S - SO	S - SO	S - SO - SE	S - SO - SE	S - SO
5 Radiación solar	5 a 5,5 kWh/m <sup>2</sup>	5 a 7 kWh/m <sup>2</sup>	2 a 7,5 kWh/m <sup>2</sup>	2 a 7,5 kWh/m <sup>2</sup>	S kWh/m <sup>2</sup>	s kWh/m <sup>2</sup>	3 a 5 kWh/m <sup>2</sup>	3 a 5 kWh/m <sup>2</sup>	3 a 5 kWh/m <sup>2</sup>
6 Horas de sol	Norte: 5 horas Centro: 4,5 horas Sur: 6 horas	Norte: 6 horas Centro: 5 horas Sur: 7 horas	Norte: 5-6 horas Centro: 7-8 horas Sur: 6 horas	Norte: 6 horas Centro: 8-10 horas Sur: 7-8 horas	Centro: 8 a 10 horas Sur: 8 a 10 horas	Centro: 8 a 10 horas Sur: 8 a 11 horas	Norte: 6-7 horas Centro: 8-11 horas Sur: 6 horas	Norte: 4-5 horas Sur-Este: 4-5 horas	Norte: 4-5 horas Este: 4-5 horas
7 Precipitación anual	< 150 mm	< 150 a 500 mm	< 150 a 1,500 mm	150 a 2,500 mm	< 150 a 2,500 mm	250 a 750 mm	150 a 6000 mm	150 a 3000 mm	150 a 4000 mm
8 Altitud	0 a 2000 msnm	400 a 2000 msnm	2000 a 3000 msnm	3000 a 4000 msnm	4000 a 4800 msnm	> 4800 msnm	1000 a 3000 msnm	400 a 2000 msnm	80 a 1000 msnm
Equivalente en la clasificación Koppen	BSs-BW, BW	Bw	BSw	Dwb	ETH	EFH	Cw	Aw	Af

Fuente: (MVCS, 2014)

## ANEXO 2

Según Ugur *et al.* (2016, p. 2), se requiere del cálculo de 6 (seis) ecuaciones que deben ser realizadas en secuencia para obtener LST:

1) Cálculo de TOA (Top of Atmospheric) radiancia espectral (Ver Ecuación 7).

Ecuación 7: Cálculo de TOA, Fuente: (UGUR, AVDAN; JOVANOVSKA, 2016, p. 2)

En donde:

$ML$  = factor de escalamiento multiplicativo específico de banda (valor disponible en el archivo de metadatos MTL, en la línea RADIANCE\_MULT\_BAND\_X, donde  $x$  es el número de banda).

$Q_{cal}$  = Banda 10

$AL$  = factor de escalamiento aditivo específico de la banda (valor disponible en el archivo de metadatos MTL, en la línea RADIANCE\_MULT\_BAND\_X,

En donde:

$x$  es el número de banda.

$O_i$  = es la corrección de la banda 10.

Siendo:  $TOA = 0,0003342 * \text{"Band 10"} + 0,1$

2) Conversión de TOA a Brightness Temperature (Temperatura de brillo), Ecuación 8:

Ecuación 8: Cálculo de Temperatura de brillo; Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.2)

En donde:

$K_1$  y  $K_2$  = constantes de conversión térmica específicas de la banda a partir de los metadatos.

$L$  = TOA

Siendo:  $BT = (1321.0789 / \ln ((774.8853 / \text{"TOA"} + 1)) - 273,15$

3) Cálculo de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), (Ver Ecuación 9).

Ecuación 9: Calculo de NDVI; Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

En donde:

$NIR\ band\ 5$  = corresponde a banda 5 de Landsat 8.

$R\ band\ 4$  = corresponde a banda 4 Landsat 8.

4) Cálculo de la proporción de vegetación  $P_v$ , (Ver Ecuación 10).

Ecuación 10: Cálculo de proporción de vegetación; Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

En donde:

NDVI= Índice de vegetación de normalización diferenciada.

5) Cálculo de la Emisividad  $\epsilon$ , (Ver ecuación 11): Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

Siendo:

$\epsilon = 0,004 * P_v + 0,986$

6) Cálculo de la temperatura de superficie de la tierra o LST (Ver ecuación 12); Fuente: (UGUR; JOVANOVSKA, 2016, p.3)

Siendo:

$LST = (BT / (1 + (0,00115 * BT / 1.4388)) * \ln (\epsilon)$



### ANEXO 3

Modulo básico tomado como referencia para la (T2, T3, T4 y T5).

Figura 89: Planta y elevación principal

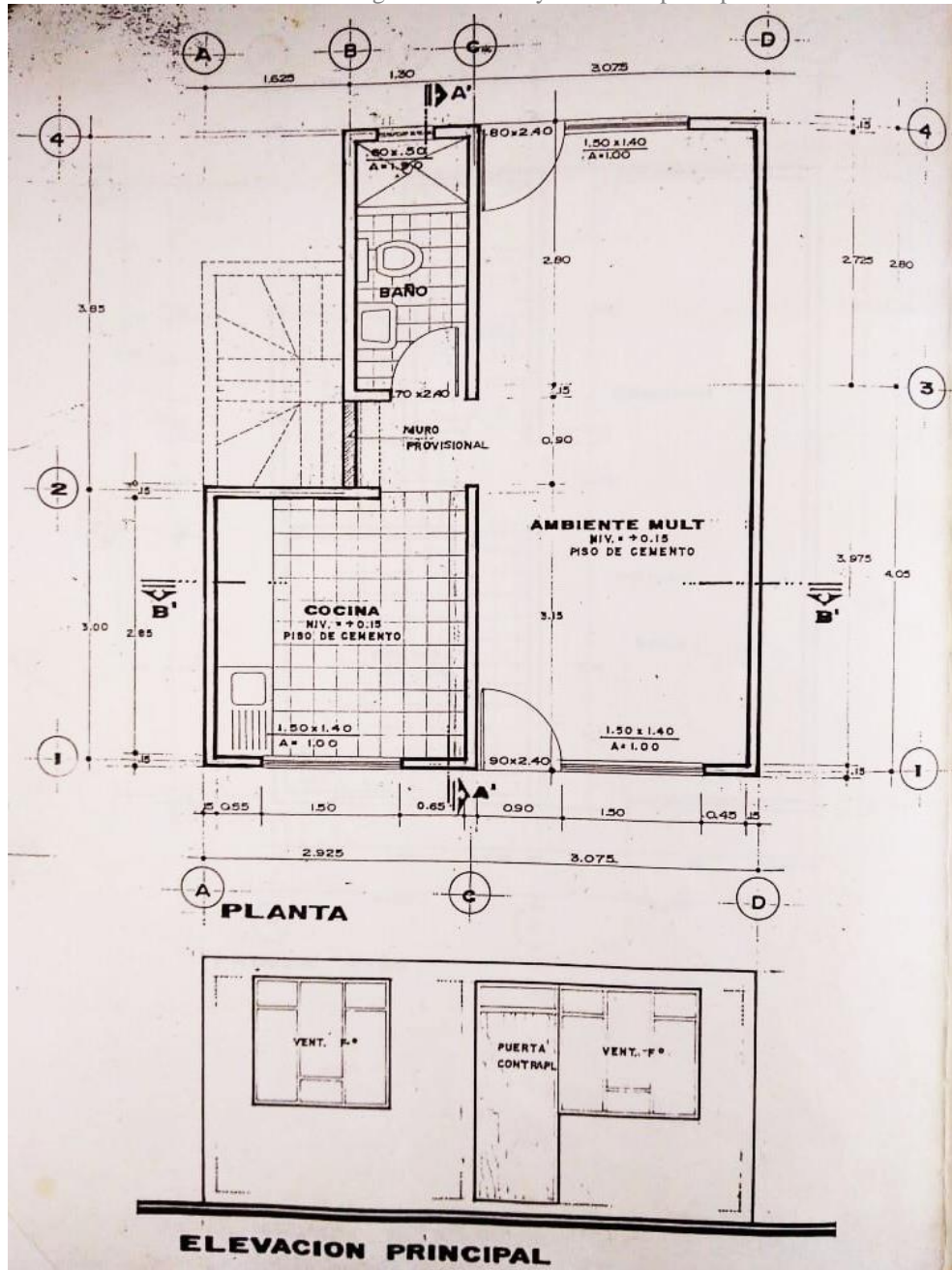
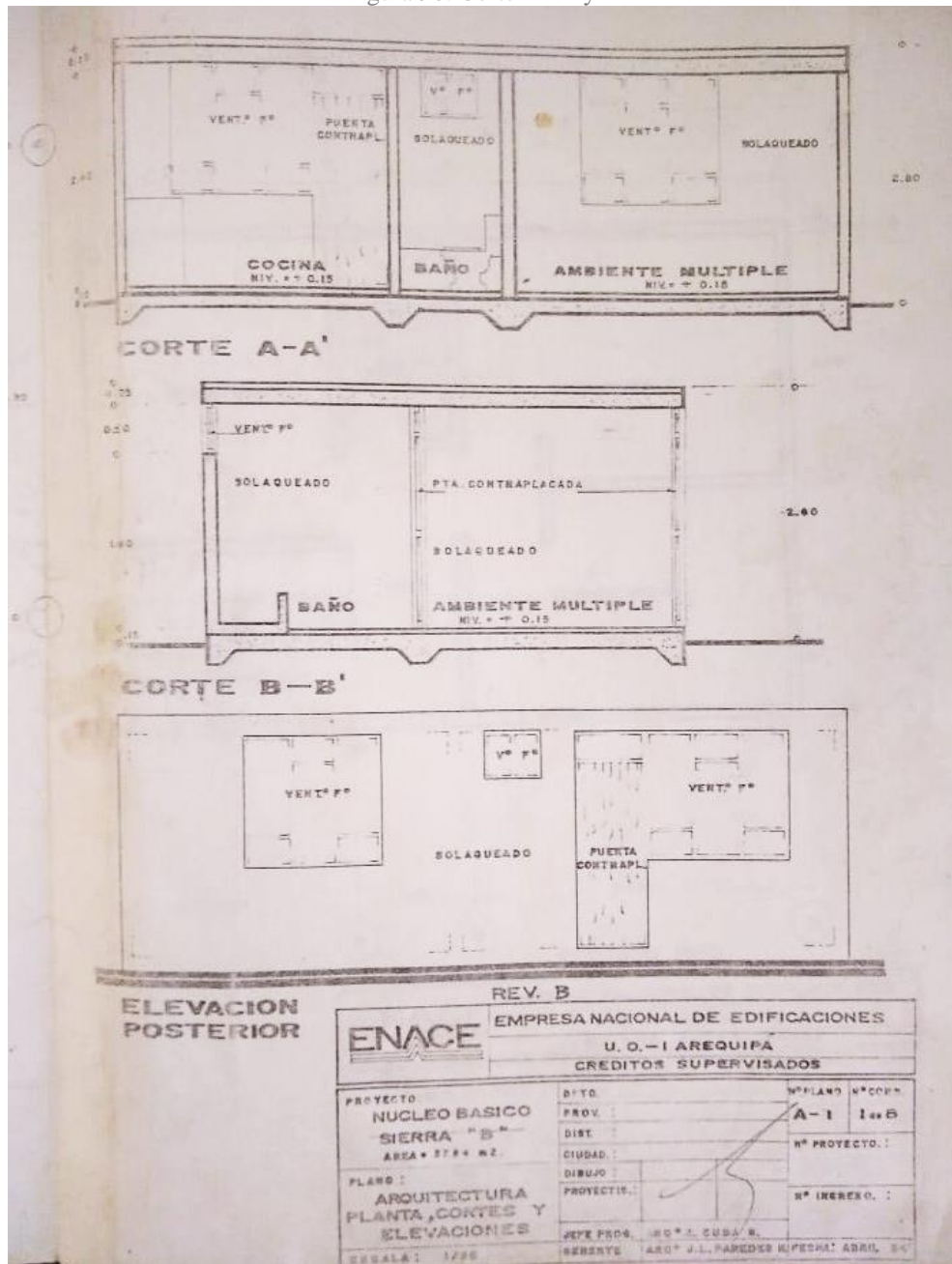


Figura 90: Corte A-A' y corte B-B'



**ANEXO 4**

Se adjunta el registro cuantitativo de las unidades encontradas por tipología Tabla 86 y materiales predominantes del recorte Tabla 87:

Tabla 86: Altura de edificación de la muestra por tipología

	T1	T2	T3					T4					T5					Vacío o cerrado	Total
	1 piso	1 piso	1 piso	2 pisos	3 pisos	4 pisos	5 pisos	1 piso	2 pisos	3 pisos	4 pisos	5 pisos	1 piso	2 pisos	3 pisos	4 pisos	5 pisos		
MZ. A	0	5	0	2	1	0	1	0	3	0	1	0	2	2	2	0	0	2	21
MZ. B	0	2	0	2	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	10
MZ C	0	7	0	3	1	1	0	0	0	0	1	0	0	3	1	0	0	5	22
MZ D	0	3	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	6
MZ. E	0	5	0	3	5	0	0	0	1	0	0	1	1	3	1	0	0	3	23
MZ F	0	2	0	0	0	0	0	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	9
MZ. H	0	5	0	6	5	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	20
MZ. G	0	2	0	1	1	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	1	12
MZ. D'	0	3	0	7	5	0	0	0	2	8	2	0	1	9	4	3	0	7	51
MZ E'	0	5	0	4	1	1	0	0	2	3	0	0	0	3	2	0	0	5	26
MZ F'	0	3	0	4	4	2	0	2	4	5	1	0	0	1	3	1	0	2	32
MZ H'	0	3	0	2	4	2	0	2	2	3	1	0	0	2	0	0	0	1	22
MZ I	0	2	0	4	10	2	0	0	0	3	2	0	0	2	2	0	0	5	32
MZ 20	1	11	0	6	6	1	1	2	6	3	1	1	0	4	7	1	0	3	54
MZ A'	0	10	0	4	6	3	0	1	4	2	1	0	0	2	0	0	0	1	34
MZ B'	0	5	0	13	4	1	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	27
MZ. C'	0	8	0	8	9	0	0	0	7	3	1	0	0	1	4	0	0	7	48
MZ J	0	7	0	3	2	1	0	0	3	2	3	0	0	1	6	1	0	2	31
MZ K	0	3	0	4	1	0	1	1	1	4	1	0	2	2	1	1	1	2	25
MZ 19	23	1	0	8	1	0	0	0	7	5	2	1	3	3	2	1	0	0	57
	24	92	0	84	69	15	3	12	51	48	17	3	9	39	35	8	1	52	
	4,3	16,4	0,0	14,9	12,3	2,7	0,5	2,1	9,1	8,5	3,0	0,5	1,6	6,9	6,2	1,4	0,2	9,3	
	4,3	16,4			30,4					23,3					16,4			9,3	

Tabla 87: Materiales encontrados en el recorte

	Techo				Muro						Revoque				Vidrio				Puerta			
	Losa de concreto	Calamina	Policarbonato	Teja	No tiene	Ladrillo cerámico tipo king kong	Ladrillo pandereta	Ladrillo caravista	Bloqueta o adobe	No tiene	Revoque tarrajado	Sin revoque	Cerámico/laja/yeso	No tiene	VS con marco de metal	VS con sistema Moduglass	VS tipo Pivotante	VS con marco de madera	No tiene	Lámina de metal	Madera	Metal+madera
14	0	0	0	2	8	4	0	2	1	9	5	2	3	9	3	0	0	3	11	4	3	2
5	0	0	0	0	7	0	0	0	1	3	3	0	3	2	4	0	0	3	6	3	0	1
13	0	0	0	4	15	1	0	0	4	11	1	3	4	9	4	0	0	4	9	7	2	3
4	0	0	0	0	0	5	0	1	0	4	1	0	0	2	1	0	0	2	6	0	0	0
16	0	2	0	1	14	3	0	0	0	16	4	0	0	4	8	0	0	4	13	7	0	1
3	0	0	0	3	4	0	0	0	2	3	1	0	2	2	1	0	0	3	4	0	0	3
12	1	0	0	1	15	1	0	1	1	14	2	1	2	4	6	0	0	1	9	7	1	1
9	0	0	0	0	6	3	2	0	0	8	1	0	3	2	4	1	0	2	5	4	0	2
36	1	0	0	6	16	15	0	1	6	29	10	2	5	10	11	1	0	8	31	9	4	6
18	0	0	0	3	17	0	0	0	3	11	8	0	3	6	8	0	2	3	16	3	4	3
21	2	0	0	2	27	0	0	0	2	20	4	1	2	11	6	0	0	4	21	6	4	2
22	0	0	0	1	16	1	0	0	1	13	8	0	1	8	5	0	0	2	18	3	5	1
20	1	3	2	5	21	2	1	0	5	17	7	0	4	5	9	1	1	6	24	1	5	4
34	2	2	1	5	28	9	1	0	4	28	10	0	6	16	12	0	1	6	41	3	2	5
23	1	2	0	1	25	4	2	0	1	17	11	0	1	13	6	0	0	3	20	10	3	1
24	0	0	0	0	21	4	0	0	0	15	8	0	0	8	7	0	0	3	24	2	1	0
32	2	1	0	5	13	10	0	0	5	21	16	2	4	10	9	1	0	5	32	8	3	5
27	0	0	0	2	29	1	0	0	3	22	8	0	3	10	8	2	0	4	30	0	0	3
15	2	2	1	2	10	6	0	0	1	10	5	2	5	6	5	0	0	4	17	2	4	1
24	24	1	1	0	18	6	1	0	0	17	28	2	0	29	3	0	0	3	40	4	6	1
448	36	13	5	43	424	75	7	10	40	336	141	15	51	166	301	7	4	73	377	83	47	45
80	6	2	1	8	75	13	1	2	7	60	25	4	9	30	54	1	1	13	67	15	8	8

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 5

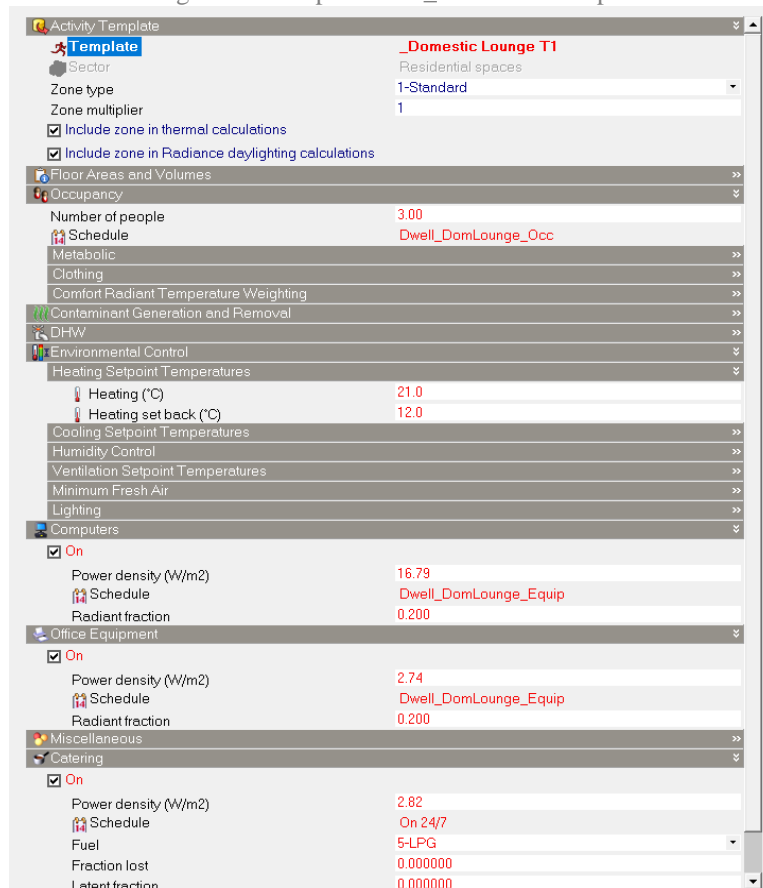
En la Tabla 88 y la Figura 91 muestra los valores de las cargas por equipamientos de la T1, densidad de ocupación, *setpoints* de la plantilla del programa referente al template *\_Domestic lounge T1* se presenta abajo.

Tabla 88: Cargas por equipamientos T1

Plantilla	Equipamientos	Ambiente	Equipo	Fracción radiante	Potencia (Watts)	Área	W/m2	Periodo (Horas diarias)	Potencia mensual total (Wh)
_Domestic lounge	Catering	A. Múltiple	Cocina a gas LPG	0,2	87,45*	30,97	2,82	24	62.964
	Office	A. Múltiple	Refrigeradora	0,2	85	30,97	2,74	24	61.200
	Computer	A. Múltiple	Televisor	0,2	120	30,97	3,87	4	14.400
	Computer	A. Múltiple	computador	0,2	400	30,97	12,92	4	48.000
									186.564
Total mensual (KWh)									186,564
Total anual									2.238,768

Fuente: Elaboración propia

Figura 91: Ocupación T1\_ambiente múltiple



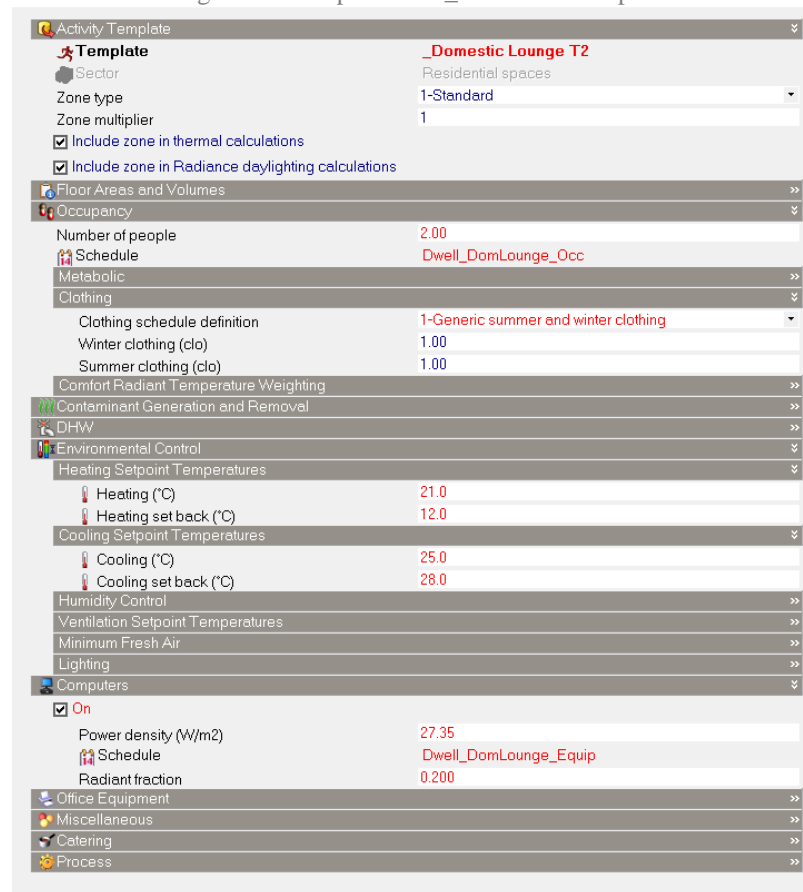
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 89 y la Figura 92 y Figura 93 se muestra los valores de las cargas por equipamientos de la T2, densidad de ocupación, *setpoints* de la plantilla del programa referente al template *\_Domestic lounge T2* y *Domestic Kitchen T2* que se presenta abajo.

Tabla 89: Cargas por equipamientos T2

Plantilla	Equipamientos	Ambiente	Equipo	Fracción radiante	Potencia (Watts)	Área	W/m2	Periodo (Horas diarias)	Potencia mensual (Wh)	total
_Domestic lounge	Computer	A. Múltiple	Televisor	0,2	120	19,01	6,31	4	14.400	
	Computer	A. Múltiple	computador	0,2	400	19,01	21,04	4	48.000	
Cocina	Catering	A. Múltiple	Cocina a gas LPG	0,2	87,45	7,58	11,54	24	62.964	
	Office	A. Múltiple	Refrigeradora	0,2	85	7,58	11,21	24	61.200	
									186.564	
Total mensual (KWh)									186,564	
Total anual									2.238,768	

Figura 92: Ocupación T2\_ambiente múltiple



Fuente: Elaboración propia

Figura 93: Ocupación T2\_cocina

The image shows a software configuration window for 'Domestic Kitchen T2'. The interface is organized into several sections:

- Activity Template:** Template: **\_Domestic Kitchen T2**, Sector: Residential spaces, Zone type: 1-Standard, Zone multiplier: 1. Includes checkboxes for thermal and radiance calculations.
- Occupancy:** Number of people: 2.00, Schedule: Dwell\_DomKitchen\_Occ, Clothing: 1-Generic summer and winter clothing, Winter clothing (clo): 1.00, Summer clothing (clo): 1.00.
- Environmental Control:** Heating Setpoint Temperatures: Heating (°C): 21.0, Heating set back (°C): 12.0; Cooling Setpoint Temperatures: Cooling (°C): 25.0, Cooling set back (°C): 28.0.
- Catering:** On: checked, Power density (W/m2): 11.21, Schedule: Dwell\_DomKitchen\_Equip, Fuel: 5-LPG, Fraction lost: 0.000000, Latent fraction: 0.000000, Radiant fraction: 0.200000.

Tabla 90: Cargas por equipamientos T3

Plantilla	Equipamientos	Ambiente	Equipo	Fracción radiante	Potencia (Watts)	Área	W/m2	Periodo (Horas diarias)	Potencia mensual total (Wh)
_Domestic lounge T3	Computer	Sala comedor	Televisor	0,2	120	13,99	8,58	4	14,400
	Computer	Sala comedor	computador	0,2	400	13,99	28,59	4	48,000
_Domestic kitchen T3	Catering	Cocina	Cocina a gas LPG	0,2	87.45*	8,11	10,78	24	62,964
	Office	Cocina	Refrigeradora	0,2	85	8,11	10,48	24	61,200
_TM59_single bedroom	Office	Dormitorio 1	Usos diversos	0,2	80	8,72	8,46	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dormitorio calle	Usos diversos	0,2	80	9,46	8,46	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dorm Norte	Usos diversos	0,2	80	7,44	10,75	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dormitorio 2	Usos diversos	0,2	80	8,11	9,86	4	9,600
Total mensual (Kwh)									224.964
Total anual									2.699,568

Figura 94: Ocupación T3\_cocina

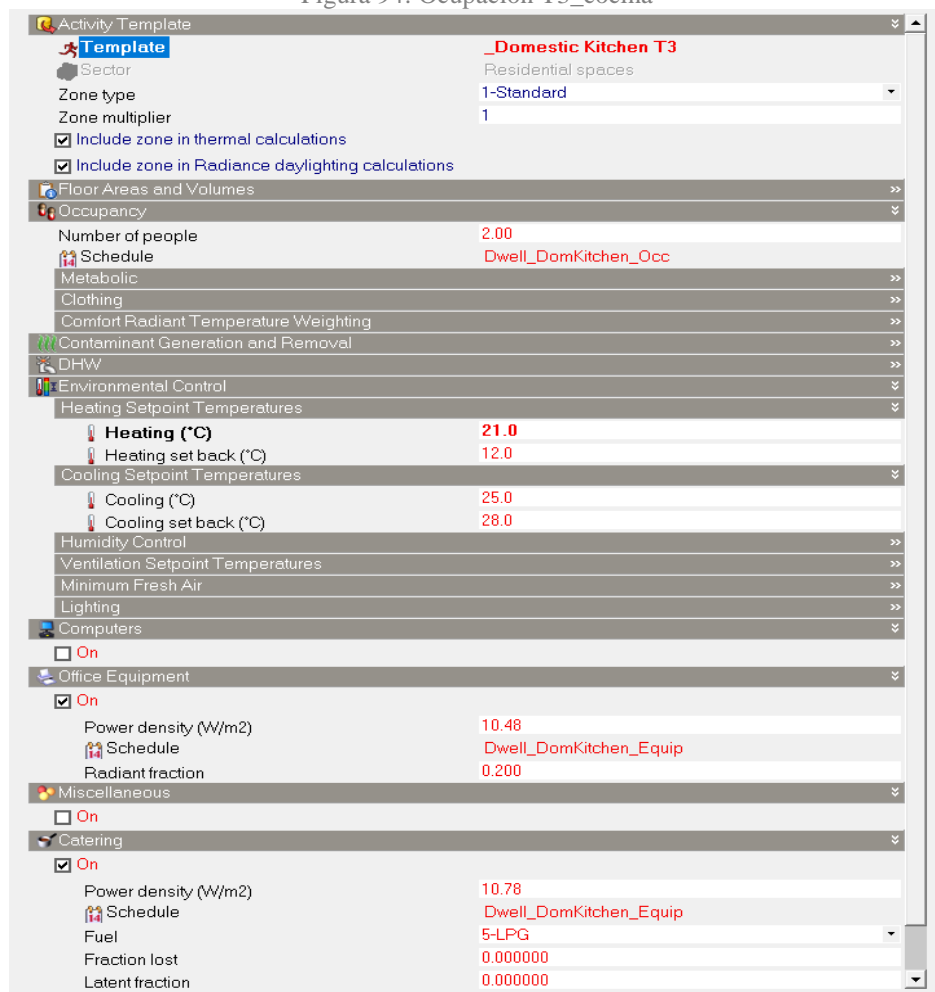


Tabla 91: Cargas por equipamientos T4

Plantilla	Equipamientos	Ambiente	Equipo	Fracción radiante	Potencia (Watts)	Área	W/m2	Periodo (Horas diarias)	Potencia mensual total (Wh)
_Domestic lounge T4	Computer	Amb. Múltiple	Televisor	0,2	120	46,41	2,59	4	14,400
	Computer	Amb. Múltiple	computador	0,2	400	46,41	8,62	4	48,000
_Domestic kitchen T4	Catering	Cocina	Cocina a gas LPG	0,2	87,45*	8,34	10,49	24	62,964
	Office	Cocina	Refrigeradora	0,2	85	8,34	10,19	24	61,200
_TM59_single bedroom	Office	Dorm. 1	Usos diversos	0,2	80	11,66	6,86	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dormitorio Sur	Usos diversos	0,2	80	11,88	6,73	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dorm Norte	Usos diversos	0,2	80	14,04	5,70	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dorm. 2	Usos diversos	0,2	80	13,99	5,72	4	9,600
Total mensual (Kwh)									224.964
Total anual									2699.568

Tabla 92: Cargas por equipamientos T5

Plantilla	Equipamientos	Ambiente	Equipo	Fracción radiante	Potencia (Watts)	Área	W/m2	Periodo (Horas diarias)	Potencia mensual total (Wh)
_Domestic lounge T5	Computer	Amb. Múltiple	Televisor	0,2	120	51,31	2,34	4	14,400
	Computer	Amb. Múltiple	computador	0,2	400	51,31	7,80	4	48,000
_Domestic kitchen T5	Catering	Amb. Múltiple	Cocina a gas LPG	0,2	87.45*	14,71	5,94	24	62,964
	Office	Amb. Múltiple	Refrigeradora	0,2	85	14,71	5,78	24	61,200
_TM59_single bedroom	Office	Dorm. 1	Usos diversos	0,2	80	6,8	11,76	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dormitorio Sur	Usos diversos	0,2	80	15,93	5,02	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dorm. Norte	Usos diversos	0,2	80	11,34	7,05	4	9,600
_TM59_single bedroom	Office	Dorm. 2	Usos diversos	0,2	80	16,81	4,76	4	9,600
Total mensual (Kwh)									224,964
Total anual									2.699,568

\*CÁLCULO ENERGÍA DE COCINA A GAS GLP, en consideración a la Ficha de datos de seguridad obtenido de la página web: [https://imagenes.repsol.com/pe\\_es/glp\\_\\_168181\\_tcm18-208366.pdf](https://imagenes.repsol.com/pe_es/glp__168181_tcm18-208366.pdf):

$$\text{Poder calorífico neto} = 1.0830 \text{ kcal/kg}$$

- *Energía entrega por 10 kg de GLP:*

$$E = 10.830 \text{ kcal/kg} \times 10 \text{ kg}$$

$$= 108,300 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kcal} = 4.186 \text{ J}$$

$$= 108.300 \times 4186 \text{ J}$$

$$E = 453343800 \text{ J}$$

- *Tiempo de duración del balón de gas (dos personas)*

$$t = 60 \text{ días}$$

$$= 60 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ s}$$

$$= 5184000 \text{ s}$$

- *Potencia absoluta de la zona*

$$P = E/t$$

$$= 453343800 \text{ J} / 5184000 \text{ s}$$

$$= 87,45 \text{ W}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$



### ANEXO 6

La Figura 95, se muestran algunas referencias sobre los valores térmicos de los componentes como muros, techo, pisos, puerta y ventanas con configuraciones similares a las usadas en este trabajo. Los marcados en amarillo se refieren a los tomados para ingreso al programa.

Figura 95: Referencias de componentes

Componente	1*	Material	Conducti	Densidad	Calor	Resistenci	Valor	Fuente	
			vidad		especifico	a térmica	U		
			$\lambda$ w/m.K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (J/kg°C)	R (m <sup>2</sup> k/W)	U (W/m <sup>2</sup> k)		
MUROS		Mampostería Bloque de arcilla - Ladrillo corriente	0,840	1700	800	-	-		RNM 110 (MVCS, 2014)
		Mortero de cemento y arena	1,400	2000	1000	-	-		
	*	Ladrillo hueco tipo ("King Kong") 125mm	0,470	1045	800	-	-	2,170	(WIESER- REY; ONNIS; MELI, 2019)
	*	Enlucido de cemento y arena 25mm	0,720	1860	1200	-	-	-	
		Mampostería	0,810	1600	-	-	-	-	
		Ladrillos cerámicos macizos	0,910 1,100	1800 2000	-	-	-	-	(IRAM 11601, 2004, p.14)
		Mortero de cemento y arena	1,16	1800- 2000	-	-	-	-	
		Enlucido interno, 25mm	1,150	2000	1000	0,022	-	-	
		Ladrillo cerámico, 13 mm	0,900	1600	920	0,014	-	-	
		Aire 94mm	0,414	-	-	0,227	-	-	
		Ladrillo cerámico, 13 mm	0,900	1600	920	0,014	-	2,130	(LABEEEE, 2018, p.45)
		Enlucido externo, 25mm	1,150	2000	1000	0,022	-	-	
		Enlucido interno, 25mm	1,150	2000	1000	0,022	-	-	
		Ladrillo cerámico, 13 mm	0,900	1600	920	0,014	-	-	
		Aire 64mm	0,356	-	-	0,180	-	2,370	(LABEEEE, 2018, p.45)
	Ladrillo cerámico, 13 mm	0,900	1600	920	0,014	-	-		
	Enlucido externo, 25mm	1,150	2000	1000	0,022	-	-		
Techo		Mampostería Bloque de arcilla - Ladrillo hueco de techo	0,350	600	-	-	-		RNM 110 (MVCS, 2014)
		Ladrillo de techo (0.30*0.30*0.12)cm	0,440	720	800	-	-	2,005	(WIESER- REY; ONNIS; MELI, 2019)
Piso		Concreto: Cemento pulido (Pisos de 5 cm de espesor)	0,53	-	-	-	-		RNM 110 (MVCS, 2014)
		Piso cerámico 7.5mm	1,05	2000	920	0,0071	-		(LABEEEE, 2018, p.45)
		Contrapiso 50mm	1,15	2000	1000	0,0435	-		
		Concreto 100mm	1,75	2200	1000	0,0571	-		
		Concreto 50mm	1,75	2200	1000	0,0286	-		

	Losa maciza de concreto 100mm	-	-	-	0,27	3,74	(PROJETEEE, 2020)
Puerta y techo	Calamina metálica de 2mm	237	-	-	-	-	RNM 110 (MVCS, 2014)
	Calamina 3 mm	45	7680	420	-	7,13	Componentes constructivos Design builder
Ventana	Vidrio para ventanas	0,58-1,05	2400-				(IRAM 11601, 2004, p.14)
	Vidrio armado con malla metálica	1,05	3200-2700				
	Vidrio 4mm	1,00	-	-	-	5,870	Componentes constructivos Design builder
	Vidrio doble con cámara de aire 28mm					2,690	Componentes constructivos Design builder
	Vidrio simple incoloro 3mm	-	-	-	-	5,700	(PROJETEEE, 2020)

Fuente: Elaboración propia en base a las fuentes citadas

Para el ingreso de los datos al programa en muros se tomó como referencia los valores de la fuente mencionada en la Tabla 93.

Tabla 93: Referencia de datos para componentes en muro

Material	Espesor (mm)	Conductividad $\lambda$ (w/m.K)	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico C (J/kg°C)	Resistencia térmica R (m <sup>2</sup> k/W)	Valor U (W/m <sup>2</sup> k)	Fuente
Ladrillo hueco tipo ("King Kong") 125mm	125 mm	0,470	1045	800	-		(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5	0,720	1860	1200	-		

### Materiales para muro

**Enlucido de cemento arena e=0.0125**

ISO 10456  
Plastics, solid  
General

Conductivity (W/m-K): 0.7200  
Specific Heat (J/kg-K): 1200.00  
Density (kg/m3): 1860.00

Vapour resistance definition: 1-Factor  
Vapour factor: 10000

**Ladrillo hueco tipo King kong e=12.5cm**

Brickwork, inner leaf  
UK NCM  
Brick and blockwork  
General

Conductivity (W/m-K): 0.4700  
Specific Heat (J/kg-K): 800.00  
Density (kg/m3): 1045.00

#### Composición de muro de ladrillo e=13,75 cm

Muro de ladrillo e=13.75m

Partitions  
PERU

1-Layers

Number of layers: 2

Outermost layer: Ladrillo tipo King kong e=12.5cm (0.1250m)

Innermost layer: Enlucido de cemento y arena e=0.0125 (0.0125m)

#### Composición de muro de ladrillo e=15,00 cm

Muro de ladrillo 0.15m

Partitions  
PERU

1-Layers

Number of layers: 3

Outermost layer: Enlucido de cemento arena e=0.0125 (0.0125m)

Layer 2: Ladrillo hueco tipo King kong e=12.5cm (0.1250m)

Innermost layer: Enlucido de cemento arena e=0.0125 (0.0125m)

Cross Section

Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]
MURO DE LADRILLO E=13.75M	0.30	2.309

Cross Section

Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]
MURO DE LADRILLO 0.15M	0.49	2.220

Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Para el ingreso de los datos al programa en techos se tomó como referencia los valores de las fuentes mencionadas en la Tabla 94.

Tabla 94: Referencia de datos para componentes en techo

Material	Esesor (mm)	Conductividad $\lambda$ (w/m.K)	Densidad $\rho$ (kg/m3)	Calor específico C (J/kg°C)	Resistencia térmica R (m²k/W)	Valor U (W/m²k)	Fuente
Calamina	3 mm	45	7680	420	-	7,13	Componentes constructivos Design builder
Ladrillo de techo (0.30*0.30*0.12)cm	125	0,440	720	800	-	2,005	(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Contrapiso	50 mm	1,15	2000	1000	0,0435	No indica	
Enlucido de yeso	30 mm	0,35	900	870	-	-	(LABEEEE, 2018, p.45)
Losa de concreto	50 mm	1,15	2000	1000	-	-	

### Materiales para techo

**General**

**Name** Copy of Metals - aluminium cladding

Description

Source CIBSE Guide A (2006)

Category Metals

Region General

**Material Layer Thickness**

Force thickness

**Thermal Properties**

**Detailed properties**

Thermal Bulk Properties

Conductivity (W/m-K) 45.0000

Specific Heat (J/kg-K) 420.00

Density (kg/m3) 7680.00

**Resistance (R-value)**

Vapour Resistance >>

Moisture Transfer >>

**General**

**Name** Ladrillo de techo LT

Description

Source

Category Concretes

Region General

**Material Layer Thickness**

Force thickness

**Thermal Properties**

**Detailed properties**

Thermal Bulk Properties

Conductivity (W/m-K) 0.4400

Specific Heat (J/kg-K) 800.00

Density (kg/m3) 720.00

**Resistance (R-value)**

Vapour Resistance >>

Moisture Transfer >>

**Composición de techo de calamina e=13,75 cm**

**General**

**Name** Techo de calamina metálica

Source

Category Roofs

Region England and Wales

Colour

**Definition**

Definition method 1-Layers

**Calculation Settings**

**Layers**

Number of layers 1

Single layer

Material Copy of Metals - aluminium cladding

Thickness (m) 0.0030

Bridged?

**Composición de losa aligerada e=25,00 cm**

**General**

**Name** Losa aligerada 25cm

Source

Category Floors (ground)

Region General

Colour

**Definition**

Definition method 1-Layers

**Calculation Settings**

**Layers**

Number of layers 4

Outermost layer

Material Contrapiso 5cm

Thickness (m) 0.0500

Bridged?

Layer 2

Material Ladrillo de techo LT

Thickness (m) 0.1200

Bridged?

Layer 3

Material Losa de concreto 5cm

Thickness (m) 0.0500

Bridged?

Innermost layer

Material Enlucido yeso 3 cm

Thickness (m) 0.0300

Bridged?

**Cross Section**

Outer surface

3.00mm Copy of Metals - aluminium cladding

Inner surface

Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]
TECHO DE CALAMINA METÁLICA	0.70	7.276

**Cross Section**

Inner surface

30.00mm Enlucido yeso 3 cm

50.00mm Losa de concreto 5cm

120.00mm Ladrillo de techo LT

50.00mm Contrapiso 5cm

Outer surface

Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]
LOSA ALIGERADA 25CM	0.40	1.716

Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

Para el ingreso de los datos al programa en pisos se tomó como referencia los valores de las fuentes mencionadas en la Tabla 95.

Tabla 95: Referencia de datos para componentes en piso

Material	Conductividad	Densidad	Calor específico	Resistencia térmica	Valor U	Fuente
	$\lambda$ w/m.K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (J/kg°C)	R (m <sup>2</sup> k/W)	U (W/m <sup>2</sup> k)	
Contrapiso 50mm	1,15	2000	1000	0,0435	-	(LABEEE, 2018, p.45)
Losa de concreto 100mm	1,75	2200	1000	0,0571	-	

**Materiales para piso**

**General**

Name: **Losa de concreto 10cm**

Description: [Empty]

Source: [Empty]

Category: Concretes

Region: General

**Material Layer Thickness**

Force thickness

**Thermal Properties**

**Detailed properties**

**Thermal Bulk Properties**

Conductivity (W/m-K)	1.7500
Specific Heat (J/kg-K)	1000.00
Density (kg/m3)	2200.00

**Resistance (R-value)**

Vapour Resistance: >>

Moisture Transfer: >>

**General**

Name: **Contrapiso 5cm**

Description: [Empty]

Source: [Empty]

Category: Concretes

Region: General

**Material Layer Thickness**

Force thickness

**Thermal Properties**

**Detailed properties**

**Thermal Bulk Properties**

Conductivity (W/m-K)	1.1500
Specific Heat (J/kg-K)	1000.00
Density (kg/m3)	2200.00

**Resistance (R-value)**

Vapour Resistance: >>

Moisture Transfer: >>

**Piso de concreto e=15,00 cm**

**General**

Name: **Piso 15 cm**

Source: [Empty]

Category: Floors (ground)

Region: General

Colour: [Empty]

**Definition**

Definition method: 1-Layers

**Calculation Settings**

**Layers**

Number of layers: 2

**Outermost layer**

Material: Contrapiso 5cm

Thickness (m): 0.0500

Bridged?

**Innermost layer**

Material: Losa de concreto 10cm

Thickness (m): 0.1000

**Cross Section**

Inner surface

100.00mm Losa de concreto 10cm

50.00mm Contrapiso 5cm

Outer surface

Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]
PISO 15CM	0.40	3.807

Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

**Adecuaciones:** el ingreso de los datos al programa en muros se tomó como referencia los valores de las fuentes mencionadas en la Tabla 96. Los valores U se obtuvieron del programa.

Tabla 96: Referencia de datos para componentes en muro

Material	Espesor (mm)	Conductividad	Densidad	Calor específico	Resistencia térmica	Valor U	Fuente
		$\lambda$ w/m.K	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	C (J/kg°C)	R (m <sup>2</sup> k/W)	U (W/m <sup>2</sup> k)	
Ladrillo hueco tipo ("King Kong") 125mm	125 mm	0,470	1045	800	-	0,50	(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-		
Madera MDF	12 mm	0,140	600	1.700	-		
Lana de oveja	55 mm	0,040	22	-	1,25	0,73	Componentes constructivos Design builder (AZA, 2016; GHAVAMI, KHOSROW; HERRERA, 2018; IVE, 2016; LABEEE, 2018; PALOMO, 2017; THORPE, 2018)
Cámara de aire	35 mm	-	-	-	-		
Placa de yeso cartón	18 mm	0,35	750	840	0,051		
Ladrillo hueco tipo ("King Kong") 125mm	125 mm	0,470	1045	800	-	0,97	(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-		
Madera MDF	12 mm	0,140	600	1.700	-		
Ichu	-	0,080	-	-	0,625	0,50	Componentes constructivos Design builder (AZA, 2016; GHAVAMI, KHOSROW; HERRERA, 2018; IVE, 2016; LABEEE, 2018; PALOMO, 2017; THORPE, 2018)
Cámara de aire	35 mm	-	-	-	-		
Placa de yeso cartón	18 mm	0,35	750	840	0,051		
Ladrillo hueco tipo ("King Kong") 125mm	125 mm	0,470	1045	800	-	0,72	(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-		
Madera MDF	12 mm	0,140	600	1.700	-		
Caña de totora entera	-	0,051	218	-	0,290	0,50	Componentes constructivos Design builder (AZA, 2016; GHAVAMI, KHOSROW; HERRERA, 2018; IVE, 2016; LABEEE, 2018; PALOMO, 2017; THORPE, 2018)
Cámara de aire	35 mm	-	-	-	-		
Placa de yeso cartón	18 mm	0,35	750	840	0,051		
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-	0,72	(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Ladrillo hueco tipo ("King Kong") 125mm	125 mm	0,470	1045	800	-		
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-		
Madera MDF	12 mm	0,140	600	1.700	-	0,72	Componentes constructivos Design builder (PROJETEE, 2020)
Lana de oveja	55 mm	0,040	22	-	1,25		
Cámara de aire	35 mm	-	-	-	-		
Placa de yeso cartón	18 mm	0,35	750	840	0,051	0,72	(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-		
Ladrillo hueco tipo ("King Kong") 125mm	125 mm	0,470	1045	800	-		
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-	0,72	Componentes constructivos Design builder
Madera MDF	12 mm	0,140	600	1.700	-		
Lana de oveja	55 mm	0,040	22	-	1,25		

Ichu		0,080	-	-	0,625		(AZA, 2016; GHAVAMI, KHOSROW; HERRERA, 2018; IVE, 2016; LABEEE, 2018; PALOMO, 2017; THORPE, 2018
Cámara de aire	35 mm	-	-	-			Componentes constructivos Design builder
Placa de yeso cartón	18 mm	0,35	750	840	0,051		
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-	0,95	(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Ladrillo hueco tipo ("King Kong") 125mm	125 mm	0,470	1045	800	-		
Enlucido de cemento y arena 25mm	12,5 mm	0,720	1860	1200	-		
Madera MDF	12 mm	0,140	600	1.700			Componentes constructivos Design builder
Caña de totora entera		0,051	218	-	0,290		(AZA, 2016; GHAVAMI, KHOSROW; HERRERA, 2018; IVE, 2016; LABEEE, 2018; PALOMO, 2017; THORPE, 2018
Cámara de aire	35 mm	-	-	-			Componentes constructivos Design builder

### Materiales para muro

#### Composición de muro de ladrillo e=13,75 cm+ lana de oveja

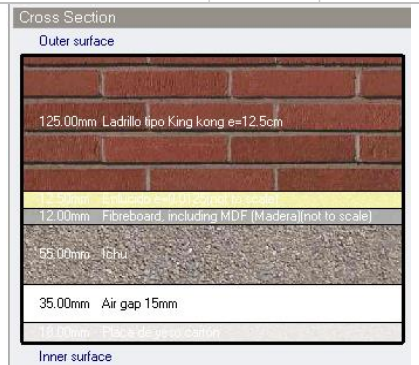
Constructions	
Layers	Surface properties   Image   Calculated   Cost   Condensation analysis
Region PERU	
Colour	
Definition	
Definition method 1-Layers	
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers 7	
Outermost layer	
Material	Enlucido e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 2	
Material	Ladrillo hueco tipo King kong e=12.5c
Thickness (m)	0.1250
Bridged?	
Layer 3	
Material	Enlucido e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 4	
Material	Fibreboard, including MDF (Madera)
Thickness (m)	0.0120
Bridged?	
Layer 5	
Material	Lana de oveja
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0550
Layer 6	
Material	Air gap 15mm
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0350
Innermost layer	
Material	Placa de yeso cartón
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0180



Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m <sup>2</sup> -K]
12 CM MURO DE LADRILLO 0.1375M+LANA DE OVEJA	0.30	0.503

#### Composición de muro de ladrillo e=13,75 cm+Ichu

General	
Name	12 cm Muro de ladrillo e=13.75m+ichu
Source	
Category	Partitions
Region	PERU
Colour	
Definition	
Definition method 1-Layers	
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers 6	
Outermost layer	
Material	Ladrillo tipo King kong e=12.5cm
Thickness (m)	0.1250
Bridged?	
Layer 2	
Material	Enlucido e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 3	
Material	Fibreboard, including MDF (Madera)
Thickness (m)	0.0120
Bridged?	
Layer 4	
Material	Ichu
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0550
Layer 5	
Material	Air gap 15mm
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0350
Innermost layer	
Material	Placa de yeso cartón
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0180



Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m <sup>2</sup> -K]
12 CM MURO DE LADRILLO E=13.75M+ICHU	0.30	0.733

#### Composición de muro de ladrillo e=13,75 cm+tatora

General	
Name	12 cm •Muro de ladrillo e=13.75m•tatora
Source	
Category	Partitions
Region	PERU
Colour	
Definition	
Definition method 1-Layers	
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers 6	
Outermost layer	
Material	Ladrillo tipo King kong e=12.5cm
Thickness (m)	0.1250
Bridged?	
Layer 2	
Material	Enlucido de cemento y arena e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 3	
Material	Fibreboard, including MDF (Madera)
Thickness (m)	0.0120
Bridged?	
Layer 4	
Material	Muro de tatora
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0550
Layer 5	
Material	Air gap 15mm
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0350
Innermost layer	
Material	Placa de yeso cartón
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0180

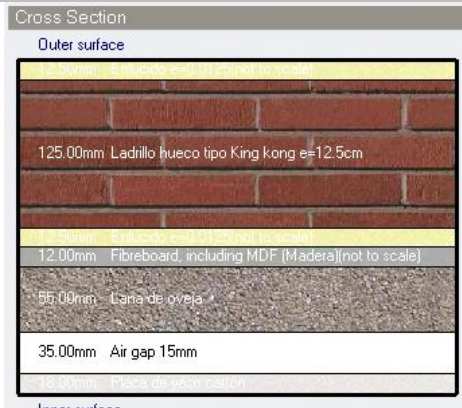


Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m <sup>2</sup> -K]
12 CM +MURO DE LADRILLO E=13.75M+TOTORA	0.30	0.971



Composición de muro de ladrillo e=15,00 cm+lana de oveja

Constructions	
Layers	Surface properties   Image   Calculated   Cost   Condensation analysis
Region	PERU
Colour	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	7
Outermost layer	
Material	Enlucido e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 2	
Material	Ladrillo hueco tipo King kong e=12.5c
Thickness (m)	0.1250
Bridged?	
Layer 3	
Material	Enlucido e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 4	
Material	Fibreboard, including MDF (Madera)
Thickness (m)	0.0120
Bridged?	
Layer 5	
Material	Lana de oveja
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0550
Layer 6	
Material	Air gap 15mm
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0350
Innermost layer	
Material	Placa de yeso cartón
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0180



Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]
12 CM MURO DE LADRILLO 0.15M+LANA DE OVEJA	0.49	0.498

Composición de muro de ladrillo e=15,00 cm+Ichu

General	
Name	Muro de ladrillo 0.15m+ichu 12 cm + aire
Source	
Category	Partitions
Region	PERU
Colour	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	7
Outermost layer	
Material	Enlucido de cemento arena e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 2	
Material	Ladrillo hueco tipo King kong e=12.5cm
Thickness (m)	0.1250
Bridged?	
Layer 3	
Material	Enlucido de cemento arena e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 4	
Material	Fibreboard, including MDF (Madera)
Thickness (m)	0.0120
Bridged?	
Layer 5	
Material	Ichu
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0550
Layer 6	
Material	Air gap 15mm
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0350
Innermost layer	
Material	Placa de yeso cartón
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0180



Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]
MURO DE LADRILLO 0.15M+ICHU 12 CM + AIRE	0.49	0.724

Composición de muro de ladrillo e=15,00 cm+Totora

General	
Name	Muro de ladrillo 0.15m+totora 12cm+aire
Source	
Category	Partitions
Region	PERU
Colour	
Definition method	1-Layers
Calculation Settings	
Layers	
Number of layers	7
Outermost layer	
Material	Enlucido de cemento arena e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 2	
Material	Ladrillo hueco tipo King kong e=12.5cm
Thickness (m)	0.1250
Bridged?	
Layer 3	
Material	Enlucido de cemento arena e=0.0125
Thickness (m)	0.0125
Bridged?	
Layer 4	
Material	Fibreboard, including MDF (Madera)
Thickness (m)	0.0120
Bridged?	
Layer 5	
Material	Muro compacto de totora
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0550
Layer 6	
Material	Air gap 15mm
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0350
Innermost layer	
Material	Placa de yeso cartón
Thickness (not used in thermal calcs) (m)	0.0180



Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]
MURO DE LADRILLO 0.15M+TOTORA 12CM+AIRE	0.49	0.955

Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

**Adecuaciones:** Para el ingreso de los datos al programa en techos se tomó como referencia los valores de las fuentes mencionadas en la Tabla 94.

Tabla 97: Referencia de datos para componentes en techo

Material		Conductividad $\lambda$ w/m.K	Densidad $\rho$ (kg/m3)	Calor específico C (J/kg°C)	Resistencia térmica R (m²k/W)	Valor U U (W/m²k)	Fuente
Termotecho PUR	35 mm	0,020	-	-	1,75	0,57	(PRECOR, 2019)
Ladrillo de techo (0.30*0.30*0.12)cm	125 mm	0,440	720	800	-	2,005	(WIESER-REY; ONNIS; MELI, 2019)
Contrapiso 50mm	50 mm	1,15	2000	1000	0,0435	No indica	
Enlucido de yeso de 30 mm	30 mm	0,35	900	870			(LABEEE, 2018, p.45)
Losa de concreto de 50 mm	50 mm	1,15	2000	1000			

### Materiales para techo

**General**

Name: Termotecho PUR

Description: Urelita

Source: Urelita

Category: Insulating materials

Region: General

Material Layer Thickness

Force thickness

Thermal Properties

Detailed properties

Resistance (R-value)

Thermal resistance (m²K/W): 1.7500

Vapour Resistance

Moisture Transfer

**Composición de termotecho PUR e=35 mm**

Conductividad: 0,020, e=0,035 m:

$$R = \frac{e}{\lambda} \Rightarrow R = \frac{0,035}{0,020} = 1,75$$

$$U = \frac{1}{R} \Rightarrow U = \frac{1}{1,75} = 0,57$$

**General**

Name: Termotecho

Source: Roofs

Category: Roofs

Region: England and Wales

Colour

Definition

Definition method: 1-Layers

Calculation Settings

Layers

Number of layers: 1

Single layer

Material: Termotecho PUR

Thickness (not used in thermal calcs) (m): 0.0350

**General**

Name: Ladrillo de techo LT

Description

Source

Category: Concretes

Region: General

Material Layer Thickness

Force thickness

Thermal Properties

Detailed properties

Thermal Bulk Properties

Conductivity (W/m-K): 0.4400

Specific Heat (J/kg-K): 800.00

Density (kg/m3): 720.00

Resistance (R-value)

Vapour Resistance

Moisture Transfer

**Composición de losa aligerada+lana e=33,80 cm**

**Constructions**

Layers | Surface properties | Image | Calculated | Cost | Condensation analysis

Colour

Definition

Definition method: 1-Layers

Calculation Settings

Layers

Number of layers: 7

Outermost layer

Material: Contrapiso 5cm

Thickness (m): 0.0500

Bridged?

Layer 2

Material: Ladrillo de techo LT

Thickness (m): 0.1200

Bridged?

Layer 3

Material: Losa de concreto 5cm

Thickness (m): 0.0500

Bridged?

Layer 4

Material: Enlucido yeso 3 cm

Thickness (m): 0.0300

Bridged?

Layer 5

Material: Lana de oveja

Thickness (not used in thermal calcs) (m): 0.0500

Layer 6

Material: Air gap >=25mm


Thickness (not used in thermal calcs) (m): 0.0250

Innermost layer

Material: Plasterboard

Thickness (m): 0.0130

Bridged?

 <p>Cross Section Outer surface</p> <p>35.00mm Termotecho PUR</p> <p>Inner surface</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Construction</th> <th>Reflectance</th> <th>U-Factor with Film [W/m2-K]</th> <th>U-Factor no Film [W/m2-K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>_LOSA ALIGERADA 25CM+LANA</td> <td>0.40</td> <td>0.484</td> <td>0.519</td> </tr> </tbody> </table>				Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]	U-Factor no Film [W/m2-K]	_LOSA ALIGERADA 25CM+LANA	0.40	0.484	0.519
	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]	U-Factor no Film [W/m2-K]								
_LOSA ALIGERADA 25CM+LANA	0.40	0.484	0.519									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Construction</th> <th>Reflectance</th> <th>U-Factor with Film [W/m2-K]</th> <th>U-Factor no Film [W/m2-K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>TERMOTECHO</td> <td>0.40</td> <td>0.530</td> <td>0.571</td> </tr> </tbody> </table>				Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]	U-Factor no Film [W/m2-K]	TERMOTECHO	0.40	0.530	0.571	
Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]	U-Factor no Film [W/m2-K]									
TERMOTECHO	0.40	0.530	0.571									
Composición de termotecho Falso techo e=88 mm												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Construction</th> <th>U-Factor with Film [W/m2-K]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>FLAT ROOF LANAAIRE PLASTER</td> <td>0.613</td> </tr> </tbody> </table>					Construction	U-Factor with Film [W/m2-K]	FLAT ROOF LANAAIRE PLASTER	0.613				
Construction	U-Factor with Film [W/m2-K]											
FLAT ROOF LANAAIRE PLASTER	0.613											

Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Para el ingreso de los datos al programa en pisos se tomó como referencia los valores de conductividad, densidad y calor específico de las fuentes mencionadas en la Tabla 95.

Tabla 98: Referencia de datos para componentes en piso

Material	Conductividad	Densidad	Calor específico	Resistencia térmica	Valor U	Fuente
	$\lambda$ w/m.K	$\rho$ (kg/m3)	C (J/kg°C)	R (m²k/W)	U (W/m²k)	
Contrapiso 50mm	1,15	2000	1000	0,0435	-	(LABEEEE, 2018, p.45)
Losa de concreto 100mm	1,75	2200	1000	0,0571	-	

Materiales para piso	
Piso de concreto + EPS e=22,75 cm	
<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px;"> <p>General</p> <p>Name: <input type="text" value="Piso 15 cm"/></p> <p>Source: <input type="text"/></p> <p>Category: Floors (ground)</p> <p>Region: General</p> <p>Colour: <input type="text"/></p> <p>Definition</p> <p>Definition method: 1-Layers</p> <p>Calculation Settings</p> <p>Layers</p> <p>Number of layers: 2</p> <p>Outermost layer</p> <p>Material: Contrapiso 5cm</p> <p>Thickness (m): 0.0500</p> <p>Bridged?: <input type="checkbox"/></p> <p>Innermost layer</p> <p>Material: Losa de concreto 10cm</p> <p>Thickness (m): 0.1000</p> </div>	

Cross Section		
Inner surface		
<p>100.00mm Losa de concreto 10cm</p> <p>50.00mm Contrapiso 5cm</p> <p>70.00mm EPS+concreto</p> <p>7.50mm Ceramico 7.5(not to scale)</p>		
Outer surface		
Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m <sup>2</sup> -K]
PISO 15CM+EPS+CERAMICA	0.40	1.708

**ANEXO 7**

**T2/Ambiente múltiple:**

-La Figura 96, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 40,28% y 54,36%.

-La Figura 97, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través las paredes externas (Walls), la ventilación natural exterior (External air) y el techo (Roofs), las renovaciones de aire por hora quedan entre 1,85 y 2,47 AC/h, Figura 97.

-(Figura 98), muestra las ganancias solares provenientes de las dos ventanas ubicadas en cara Norte y Sur alcanzando un máximo de 155,97 kWh en el mes de mayo.

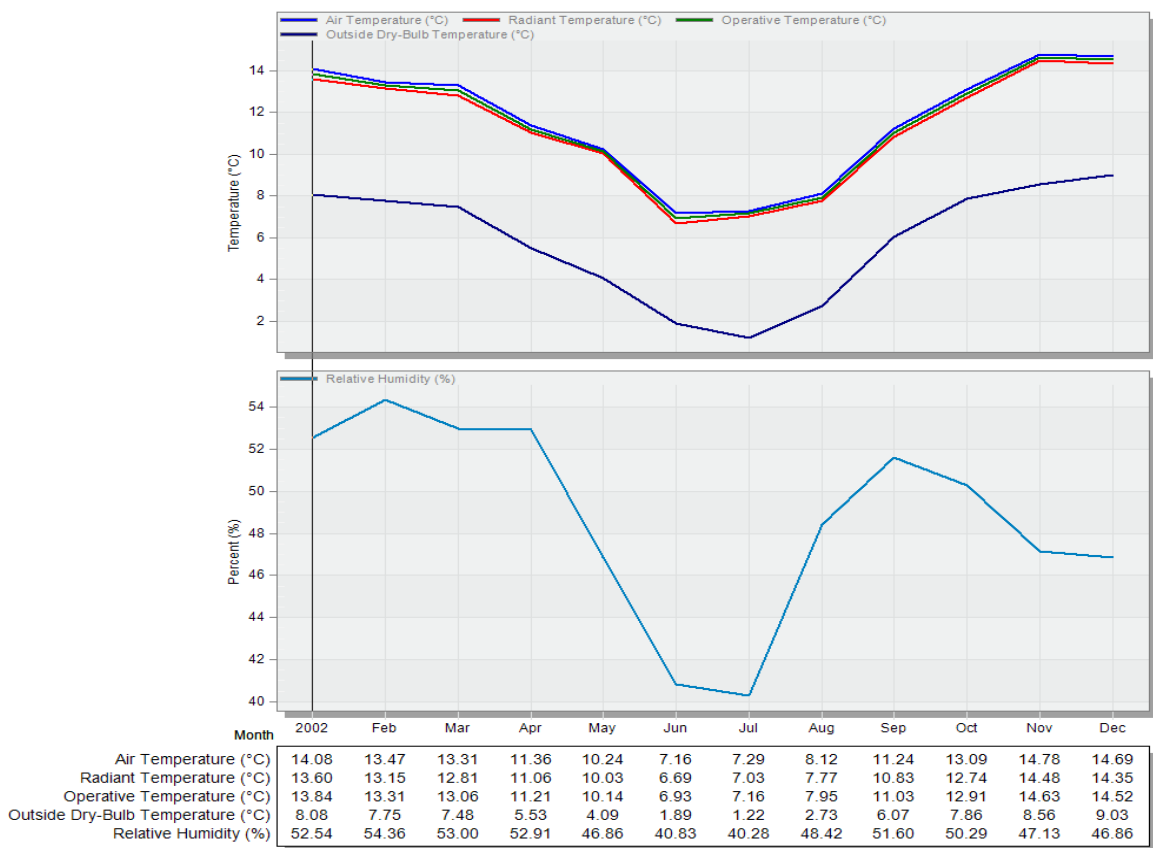
14.08  
EnergyPlus Output

Figura 96: Confort T2, Ambiente múltiple

Comfort - Primer nivel, Ambiente múltiple

1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



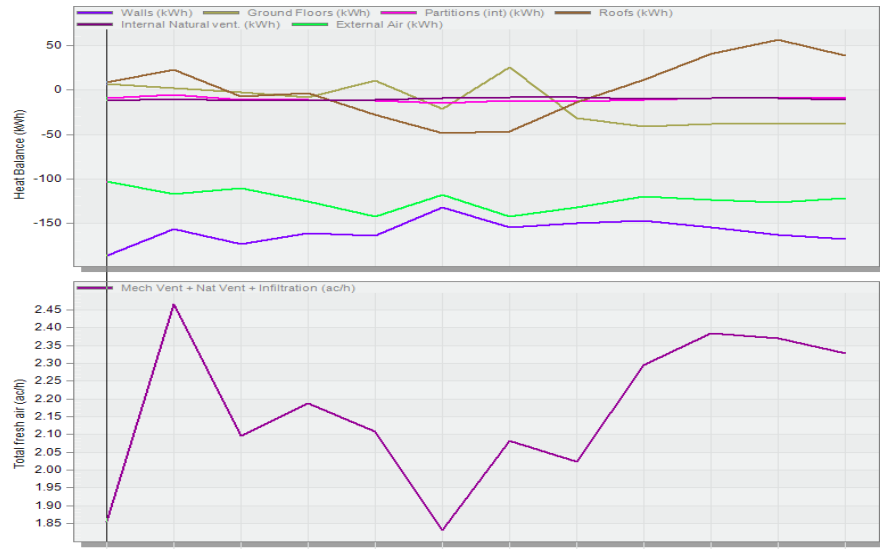
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

-185.83  
EnergyPlus Output

Figura 97: Fabric and ventilation T2, ambiente múltiple

Fabric and Ventilation - Primer nivel, Ambiente múltiple  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Walls (kWh)	-185.83	-156.71	-173.02	-160.54	-163.42	-132.14	-154.05	-149.97	-147.08	-154.10	-162.50	-167.50
Ground Floors (kWh)	6.90	2.44	-2.43	-8.58	10.72	-21.21	25.31	-32.07	-41.27	-38.40	-38.57	-38.66
Partitions (int) (kWh)	-9.44	-5.91	-11.21	-10.87	-12.05	-14.79	-12.03	-12.78	-10.82	-9.26	-9.28	-8.43
Roofs (kWh)	8.61	22.83	-7.38	-3.50	-27.51	-48.20	-46.41	-13.54	11.83	40.24	55.92	38.26
Internal Natural vent. (kWh)	-12.45	-9.94	-11.86	-11.82	-11.10	-8.95	-8.36	-8.73	-9.84	-9.54	-8.91	-11.39
External Air (kWh)	-102.86	-116.74	-110.41	-125.33	-142.13	-117.85	-141.80	-132.20	-119.57	-123.68	-125.84	-122.05
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach/h)	1.85	2.47	2.10	2.19	2.11	1.83	2.08	2.02	2.29	2.39	2.37	2.33

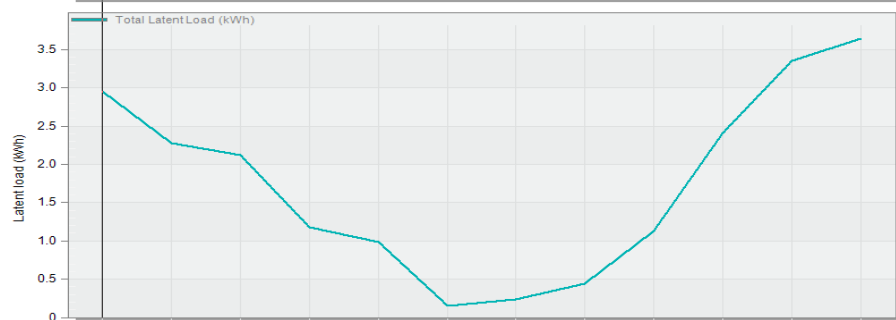
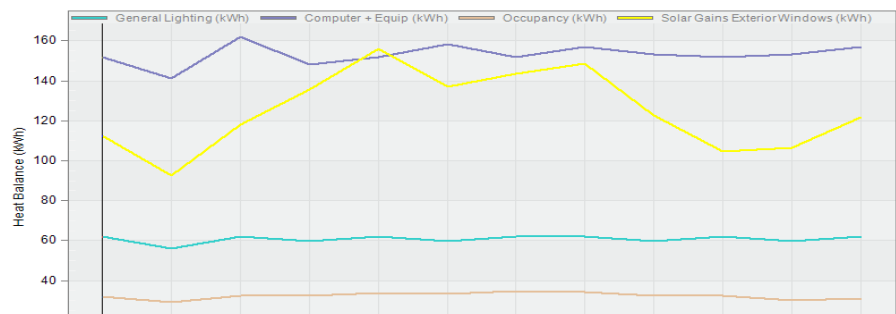
Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

61.89  
EnergyPlus Output

Figura 98: Ganancias internas T2, ambiente múltiple

Internal Gains + solar - Primer nivel, Ambiente múltiple  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
General Lighting (kWh)	61.89	55.90	61.89	59.89	61.89	59.89	61.89	61.89	59.89	61.89	59.89	61.89
Computer + Equip (kWh)	151.70	141.03	162.05	148.14	151.70	158.49	151.70	156.88	153.32	151.70	153.32	156.88
Occupancy (kWh)	31.82	29.14	32.66	32.49	33.80	33.50	34.55	34.34	32.53	32.37	30.30	31.14
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	112.68	92.50	117.82	135.42	155.97	137.17	143.37	148.49	122.49	104.66	106.54	121.86
Total Latent Load (kWh)	2.96	2.27	2.13	1.17	0.98	0.16	0.23	0.44	1.13	2.42	3.36	3.64

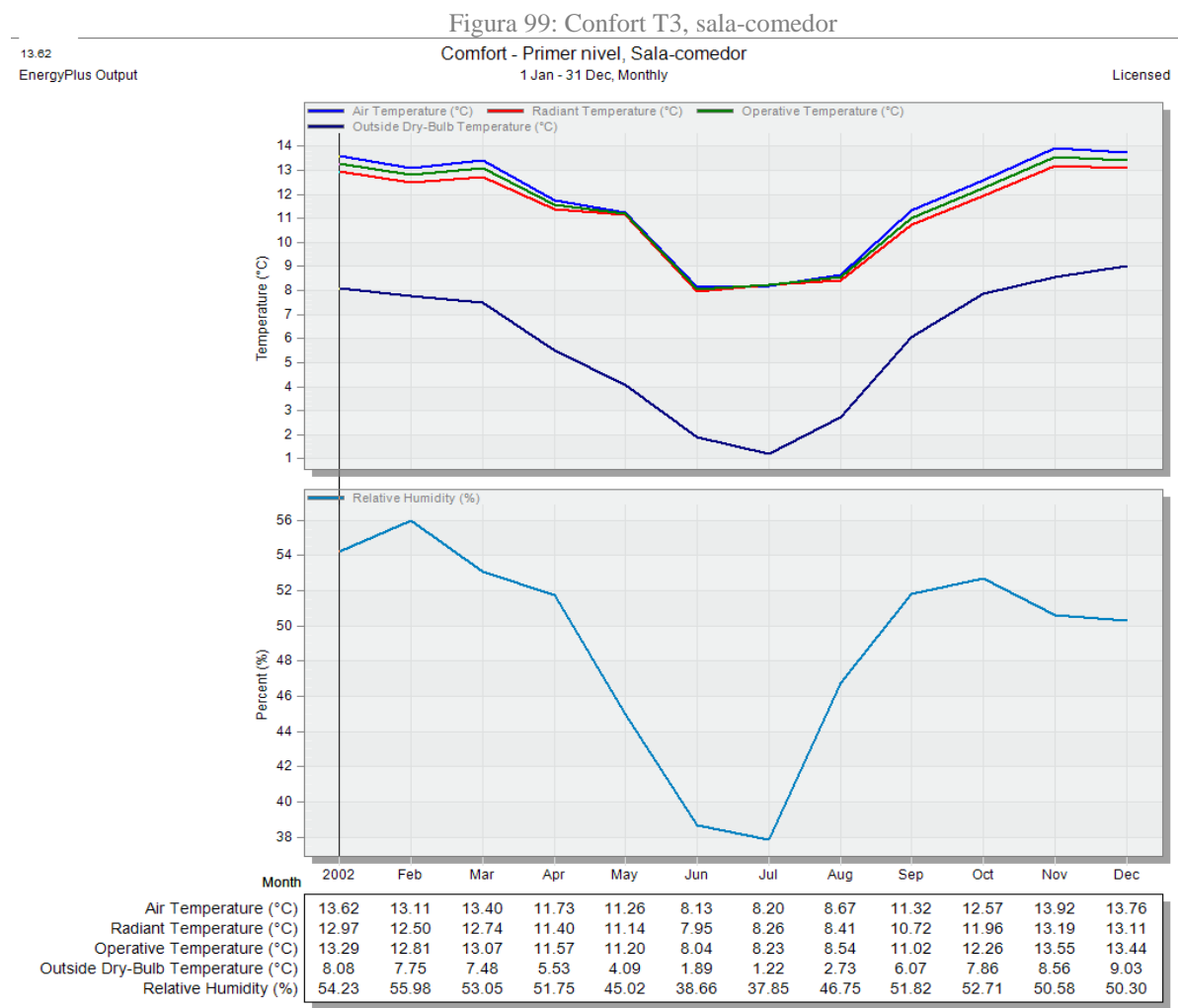
Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

**T3/ Ambiente múltiple:**

-La Figura 99, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 37,85% y 55,98%.

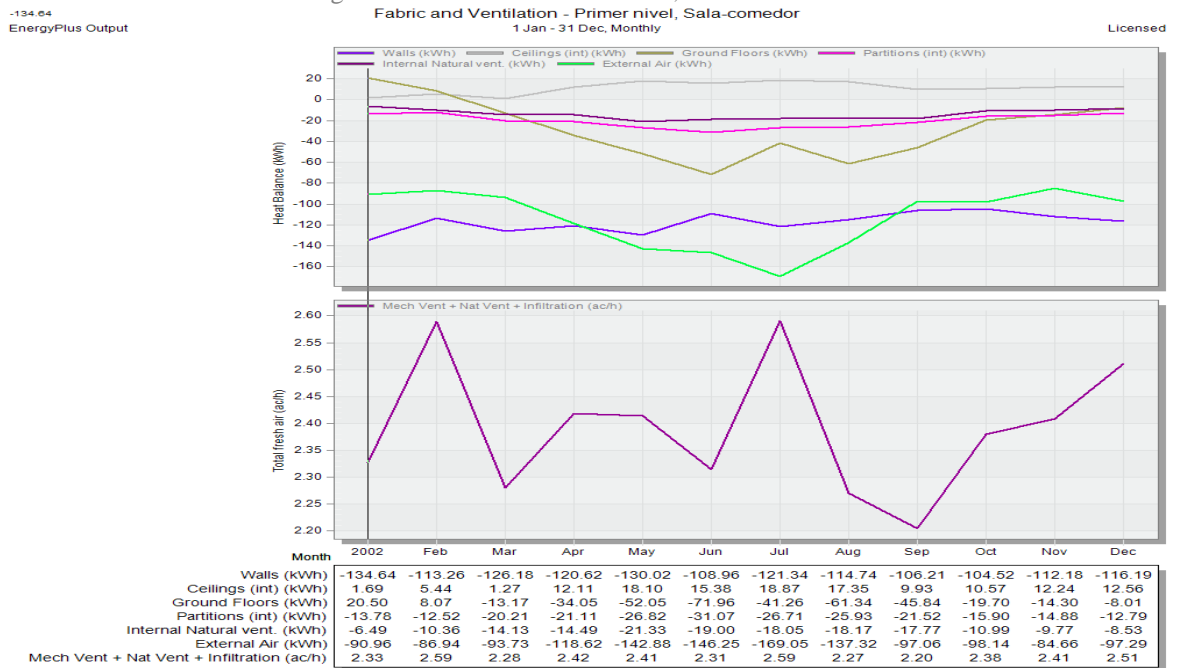
-La Figura 100, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través de la ventilación natural exterior (External air), las paredes externas (Walls), piso (ground floor), las renovaciones de aire por hora quedan entre 2,20 y 2,59 AC/h, Figura 97.

-La Figura 101, muestra las ganancias internas que se dan por equipamientos y solares.



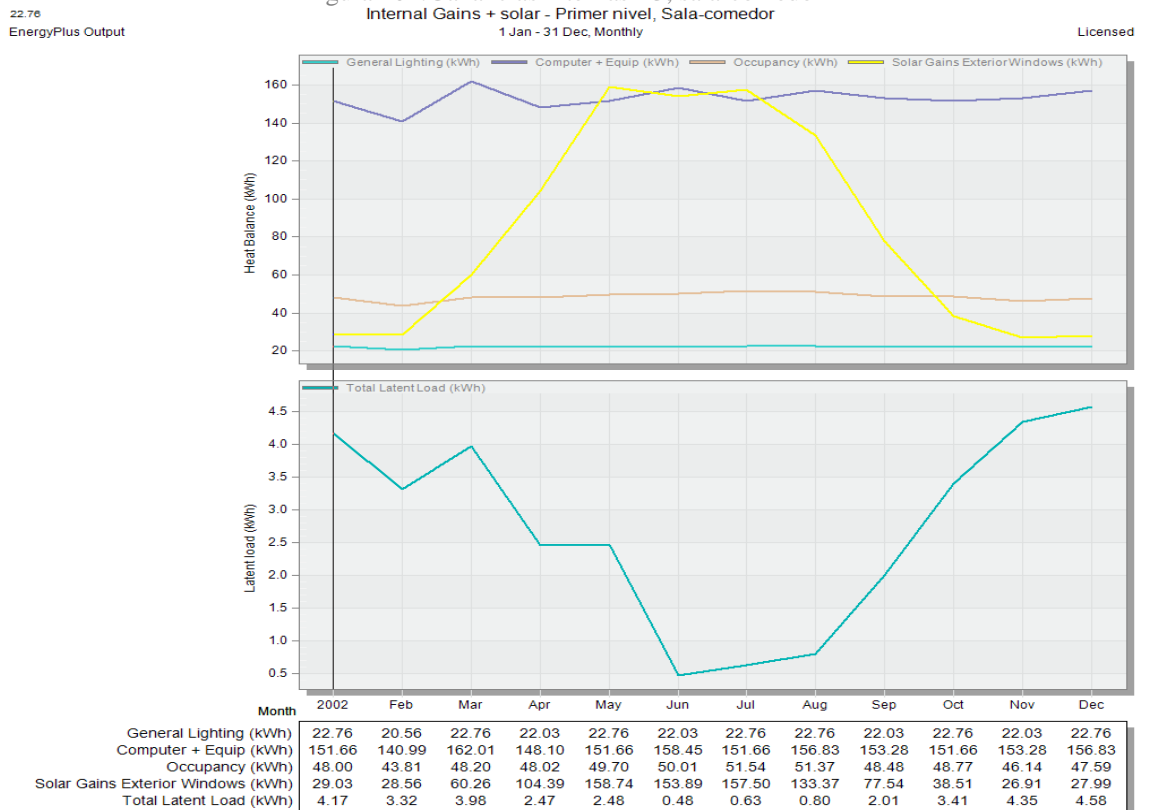
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 100: Fabric and ventilation, T3-sala comedor



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 101: Ganancias internas T3, sala-comedor



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

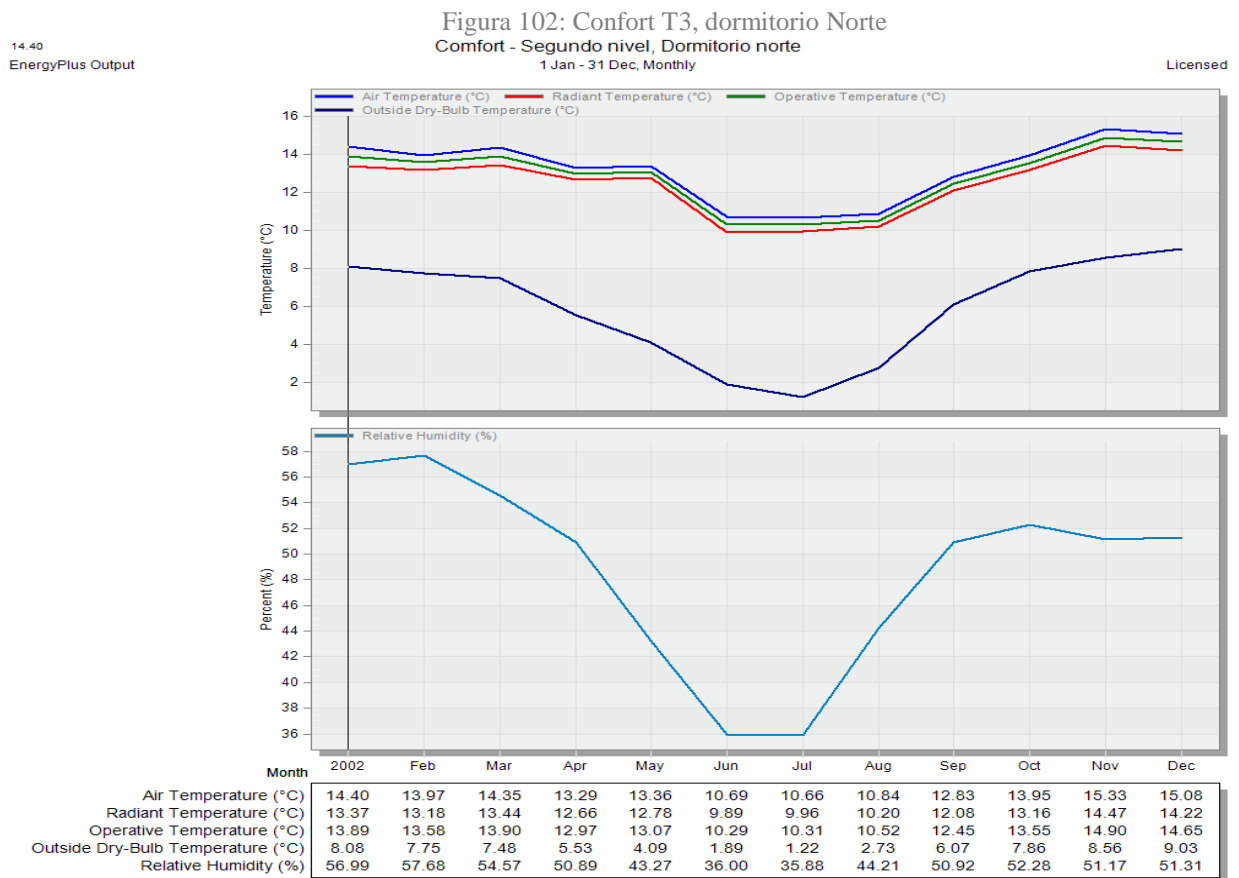


T3/ Dormitorio Norte:

-Figura 102, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 36,00% y 57,68%

-Figura 103, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través paredes externas (Walls), la ventilación natural exterior (External air) y las particiones interiores (Partition int), las renovaciones de aire por hora quedan entre 0,65 a 1,47 AC/h.

-Figura 104, muestra las ganancias solares provienen de las dos ventanas ubicadas en cara Norte y Sur alcanzando un máximo de 155,97 kWh en el mes de mayo.



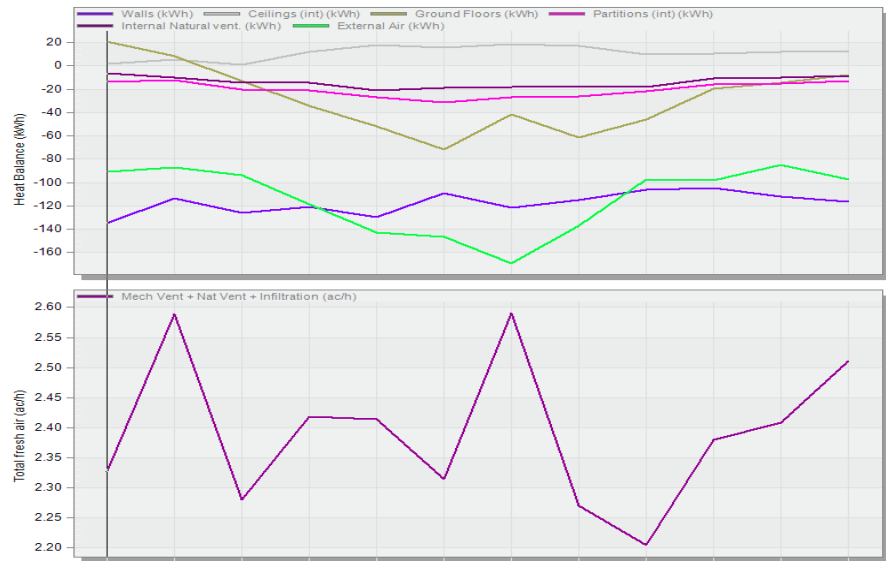
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

-134.64  
EnergyPlus Output

Figura 103: Fabric and ventilation,T3-dormitorio Norte

Fabric and Ventilation - Primer nivel, Sala-comedor  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Walls (kWh)	-134.64	-113.26	-126.18	-120.62	-130.02	-108.96	-121.34	-114.74	-106.21	-104.52	-112.18	-116.19
Ceilings (int) (kWh)	1.69	5.44	1.27	12.11	18.10	15.38	18.87	17.35	9.93	10.57	12.24	12.56
Ground Floors (kWh)	20.50	8.07	-13.17	-34.05	-52.05	-71.96	-41.26	-61.34	-45.84	-19.70	-14.30	-8.01
Partitions (int) (kWh)	-13.78	-12.52	-20.21	-21.11	-26.82	-31.07	-26.71	-25.93	-21.52	-15.90	-14.88	-12.79
Internal Natural vent. (kWh)	-6.49	-10.36	-14.13	-14.49	-21.33	-19.00	-18.05	-18.17	-17.77	-10.99	-9.77	-8.53
External Air (kWh)	-90.96	-86.94	-93.73	-118.62	-142.88	-146.25	-169.05	-137.32	-97.06	-98.14	-84.66	-97.29
Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)	2.33	2.59	2.28	2.42	2.41	2.31	2.59	2.27	2.20	2.38	2.41	2.51

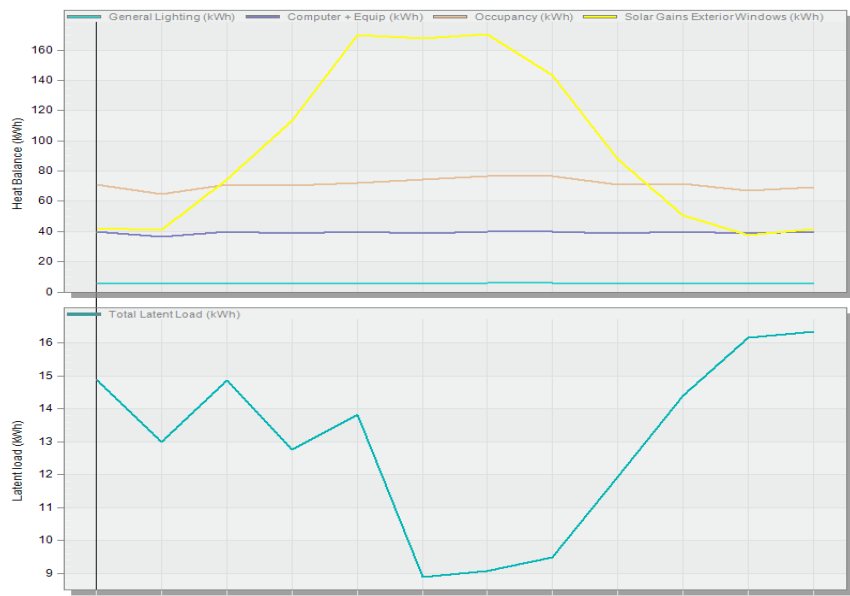
Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

5.79  
EnergyPlus Output

Figura 104: Ganancias internas T3, dormitorio Norte

Internal Gains + solar - Segundo nivel, Dormitorio norte  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



Month	2002	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
General Lighting (kWh)	5.79	5.23	5.79	5.61	5.79	5.61	5.79	5.79	5.61	5.79	5.61	5.79
Computer + Equip (kWh)	40.10	36.22	40.10	38.80	40.10	38.80	40.10	40.10	38.80	40.10	38.80	40.10
Occupancy (kWh)	70.95	64.54	70.98	70.33	72.03	74.18	76.77	76.36	71.13	71.44	66.93	69.50
Solar Gains Exterior Windows (kWh)	42.38	40.78	74.36	113.67	170.17	167.69	170.47	143.10	88.11	50.37	37.88	41.64
Total Latent Load (kWh)	14.89	12.99	14.86	12.74	13.81	8.89	9.07	9.48	11.94	14.40	16.14	16.34

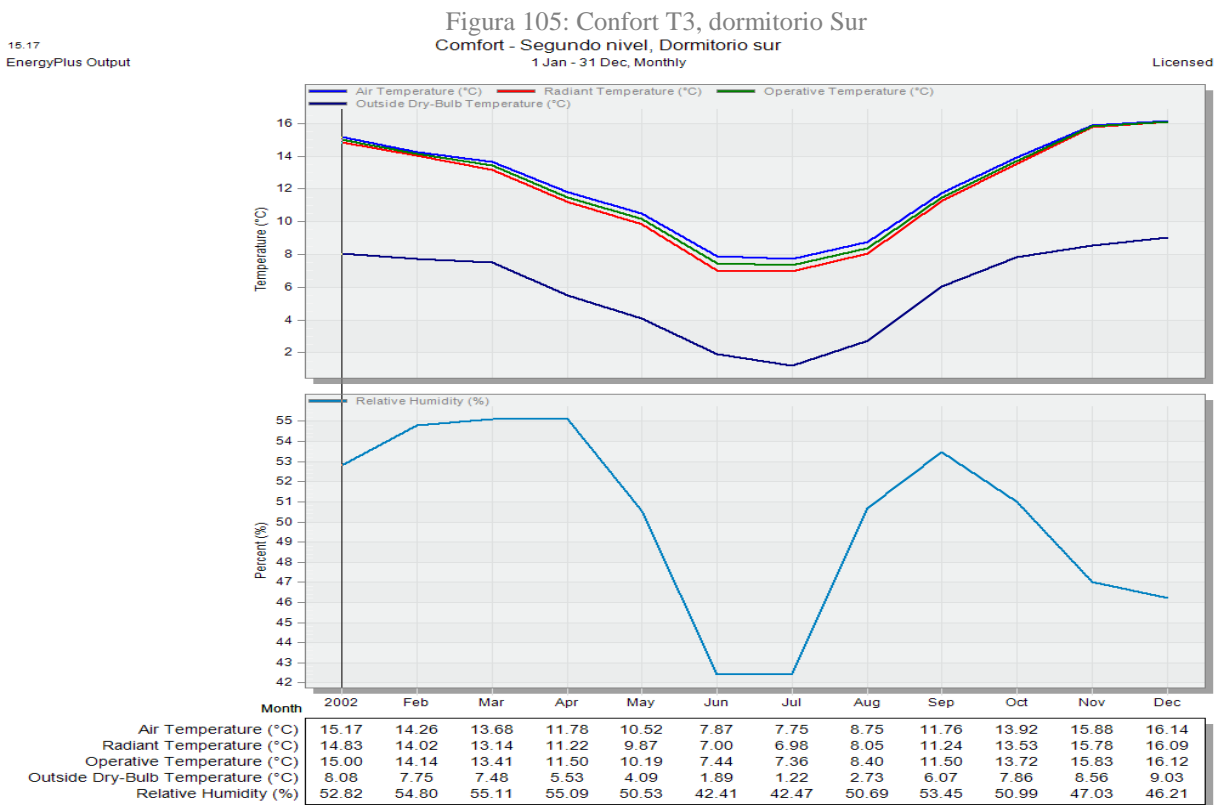
Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

T3/ Dormitorio Sur:

-Figura 105, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 42,41% y 55,09%

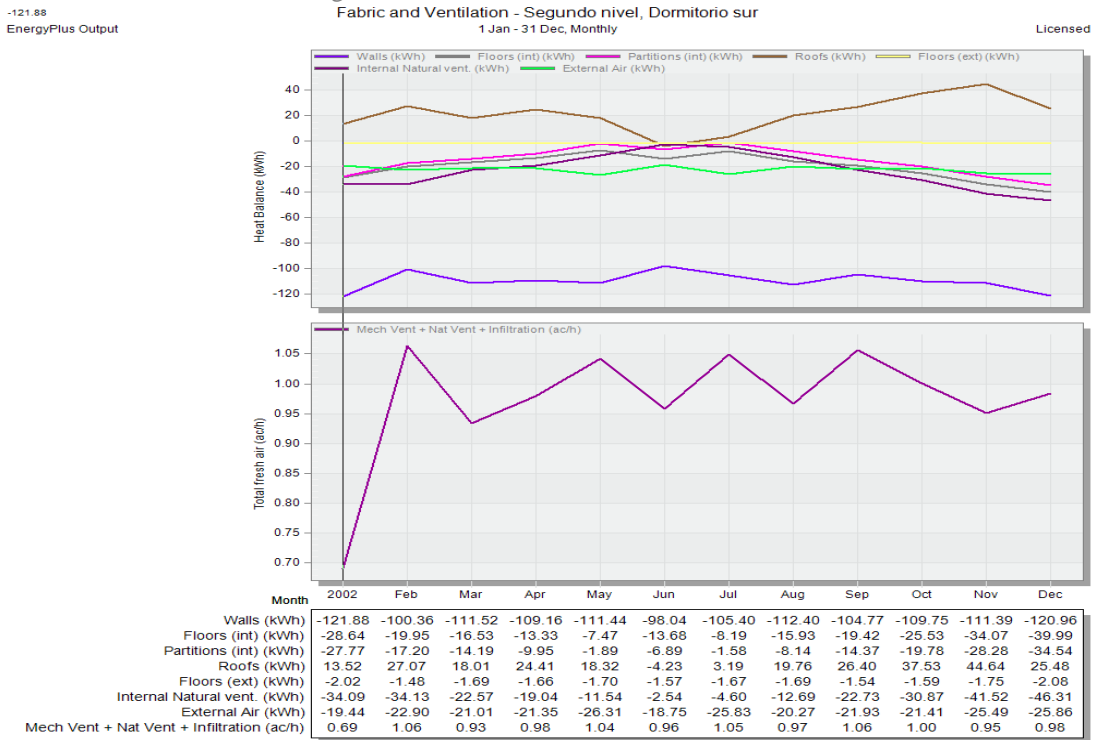
-Figura 106, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través de las paredes externas (Walls), la ventilación natural exterior (External air), las renovaciones de aire por hora quedan entre 0,69 y 1,06 AC/h.

-Figura 107, muestra las ganancias internas que se dan por equipamientos y ocupación, se observa ganancias solares solo en enero y diciembre por tener ventanas en cara Sur.



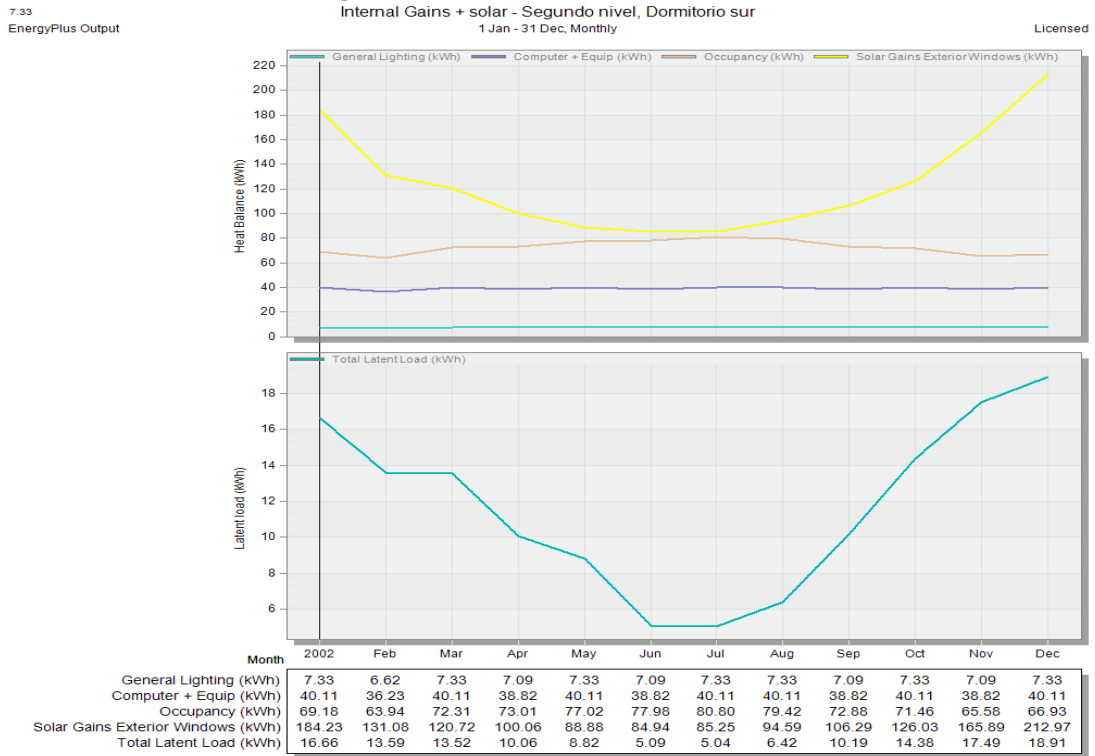
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 106: Fabric and ventilation T3, dormitorio Sur



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 107: Ganancias internas T3, dormitorio Sur



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

T4/ Sala-comedor

-Figura 108, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 46,96% y 60,26%.

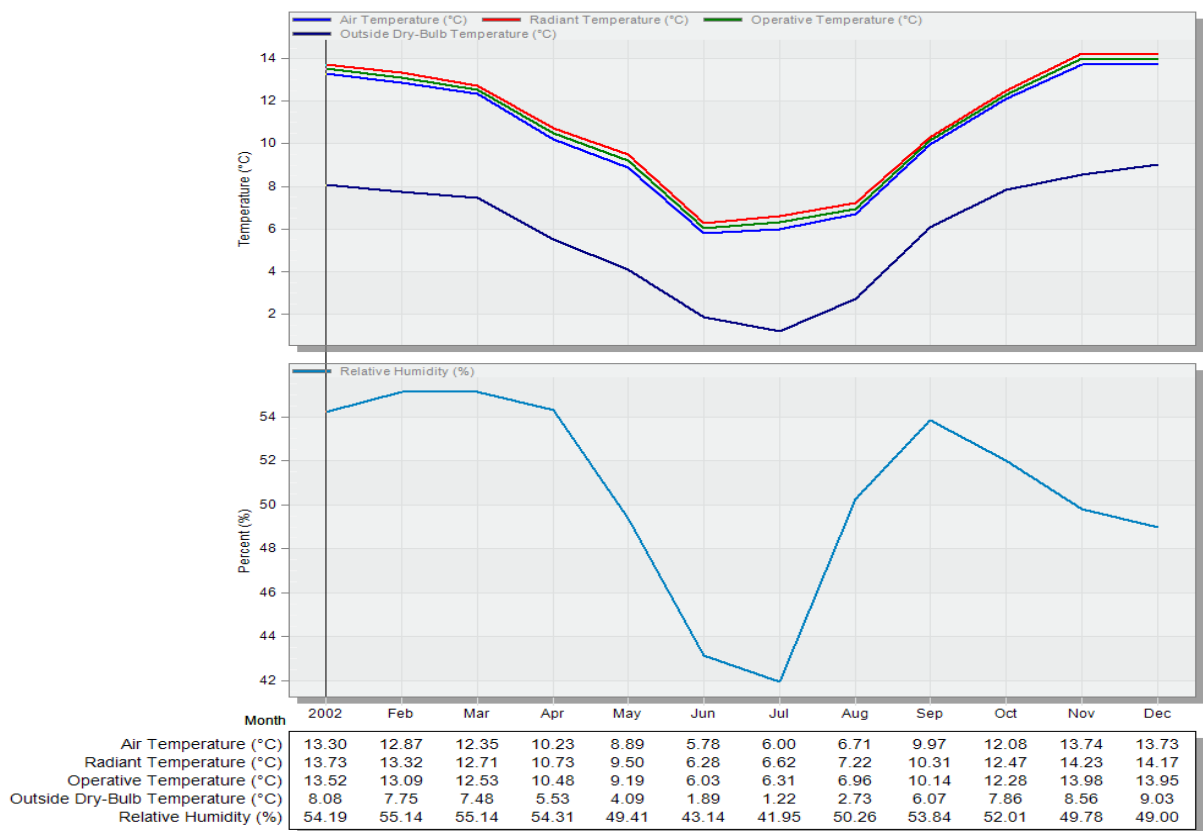
-Figura 109, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través del aire externo (external air), muros (Walls) y la ventilación natural interior (Internal natural ventilación), las renovaciones de aire por hora quedan entre 1,58 y 2,70 AC/h.

-Figura 110, muestra las ganancias que provienen de los equipamientos.

13.30  
EnergyPlus Output

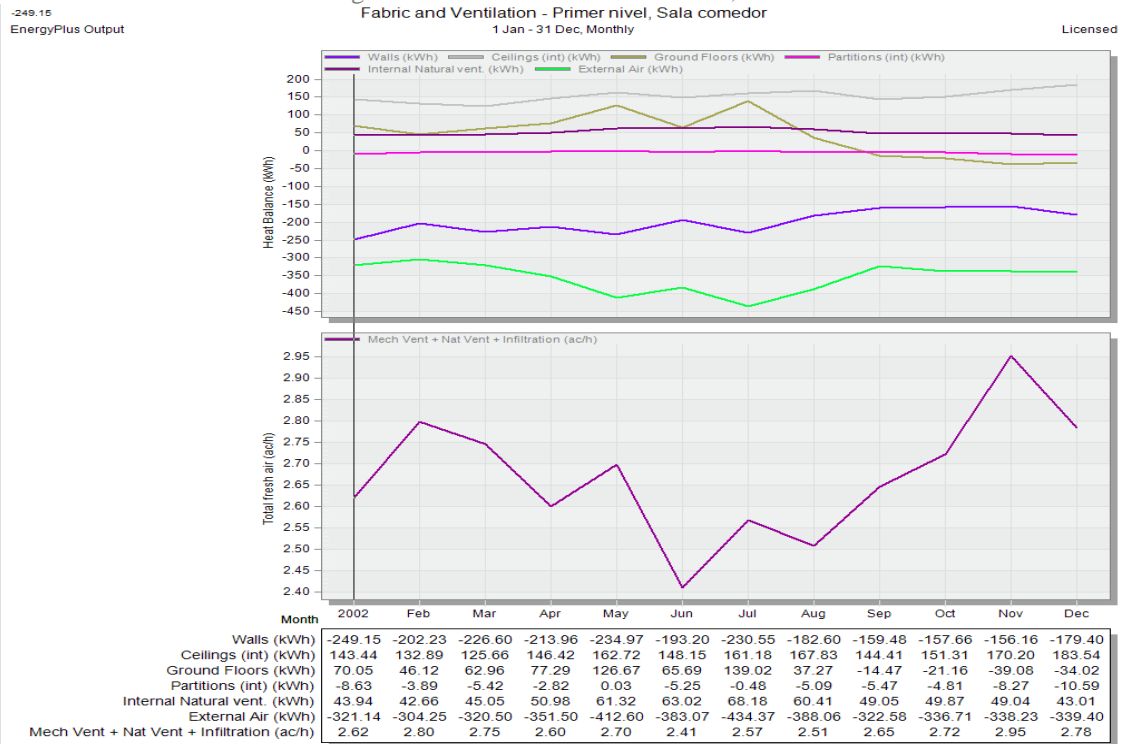
Figura 108: Confort T4, sala-comedor  
Comfort - Primer nivel, Sala comedor  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



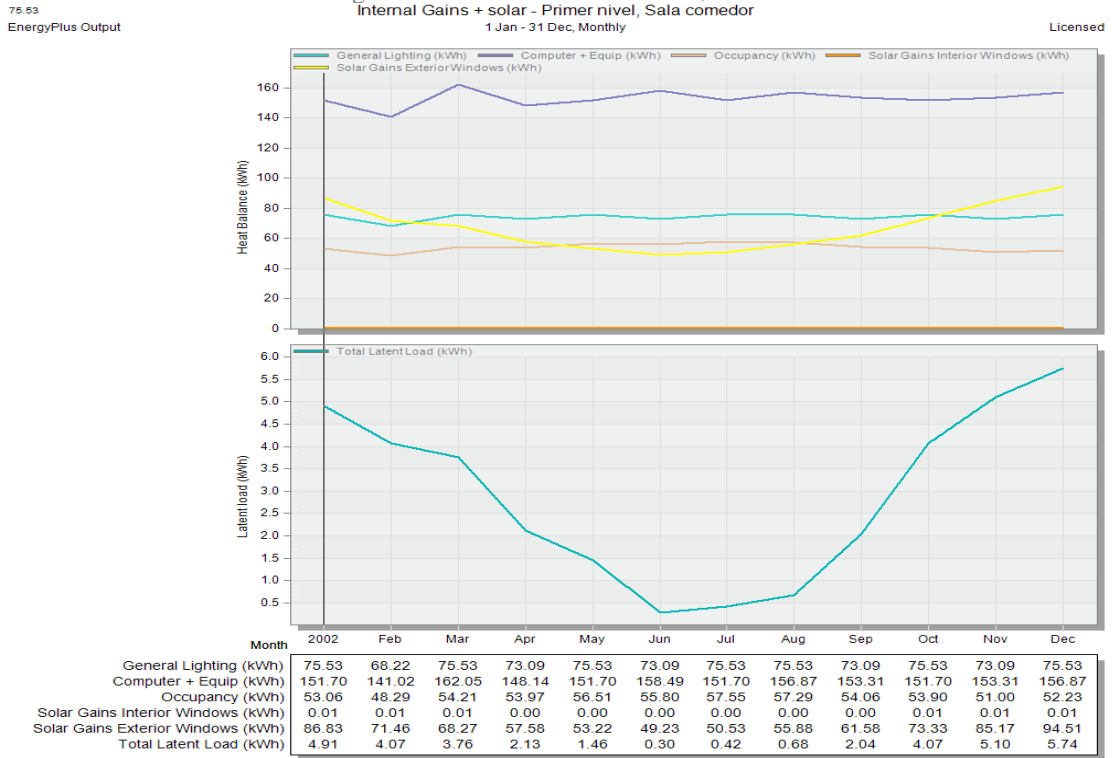
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 109: Fabric and ventilation T4, sala-comedor



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 110: Ganancias internas T4, sala comedor



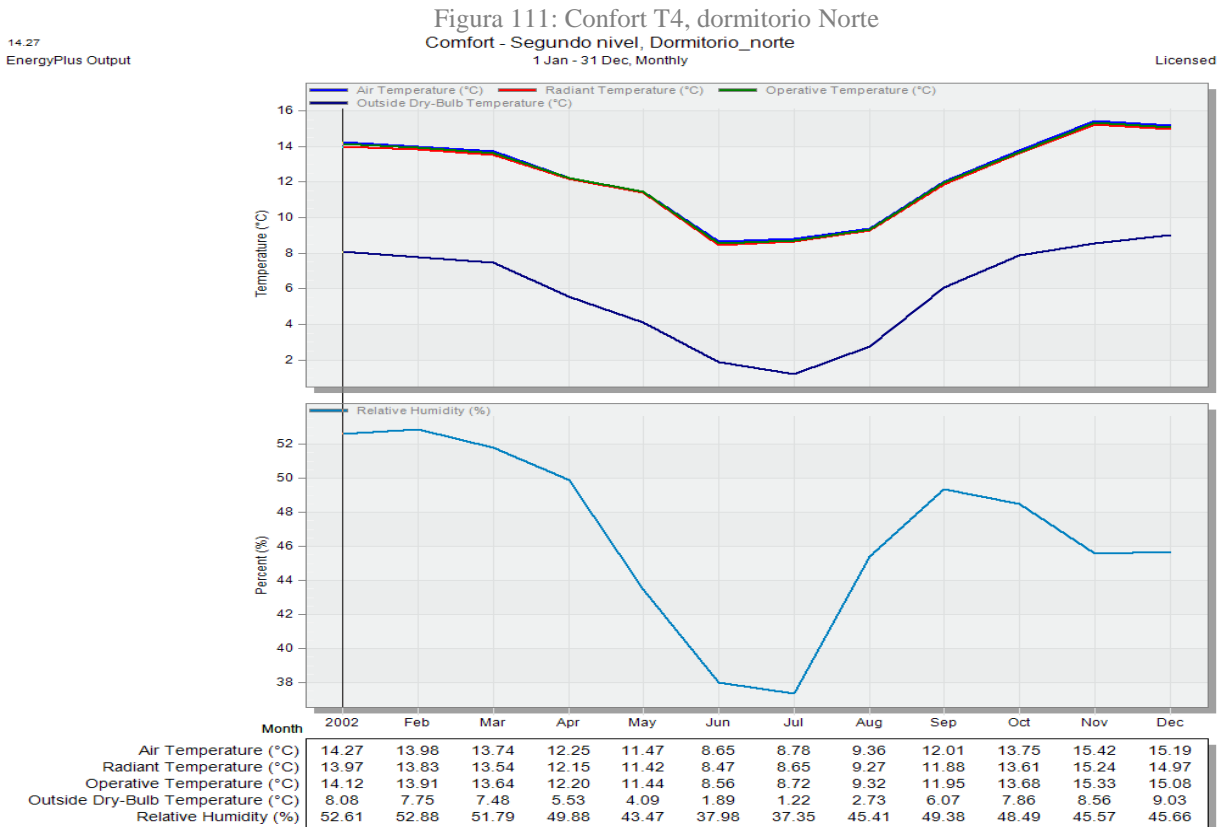
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

*T4/Dormitorio Norte:*

-Figura 111, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 42,53% y 58,41%.

-Figura 112, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través las paredes externas (Walls), piso interior (floors int), las renovaciones de aire por hora quedan entre 0,36 a 0,65 AC/h.

-Figura 113, muestra las ganancias internas que son solares principalmente



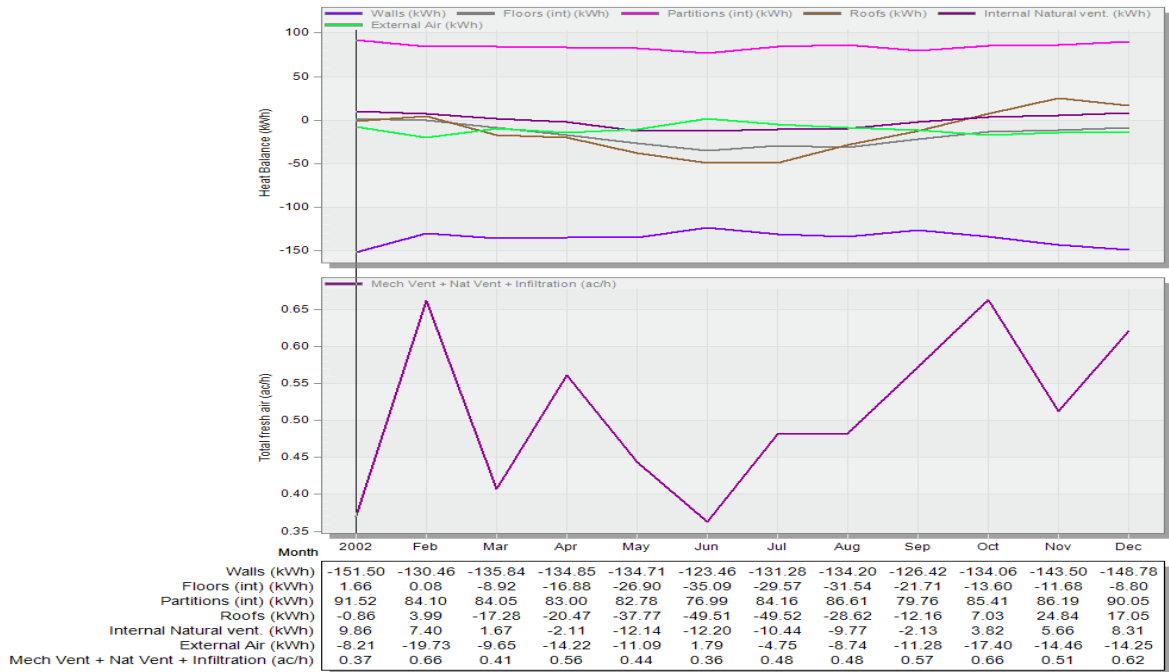
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

-151.50  
EnergyPlus Output

Figura 112: Fabric and ventilation T4, dormitorio Norte

Fabric and Ventilation - Segundo nivel, Dormitorio\_norte  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



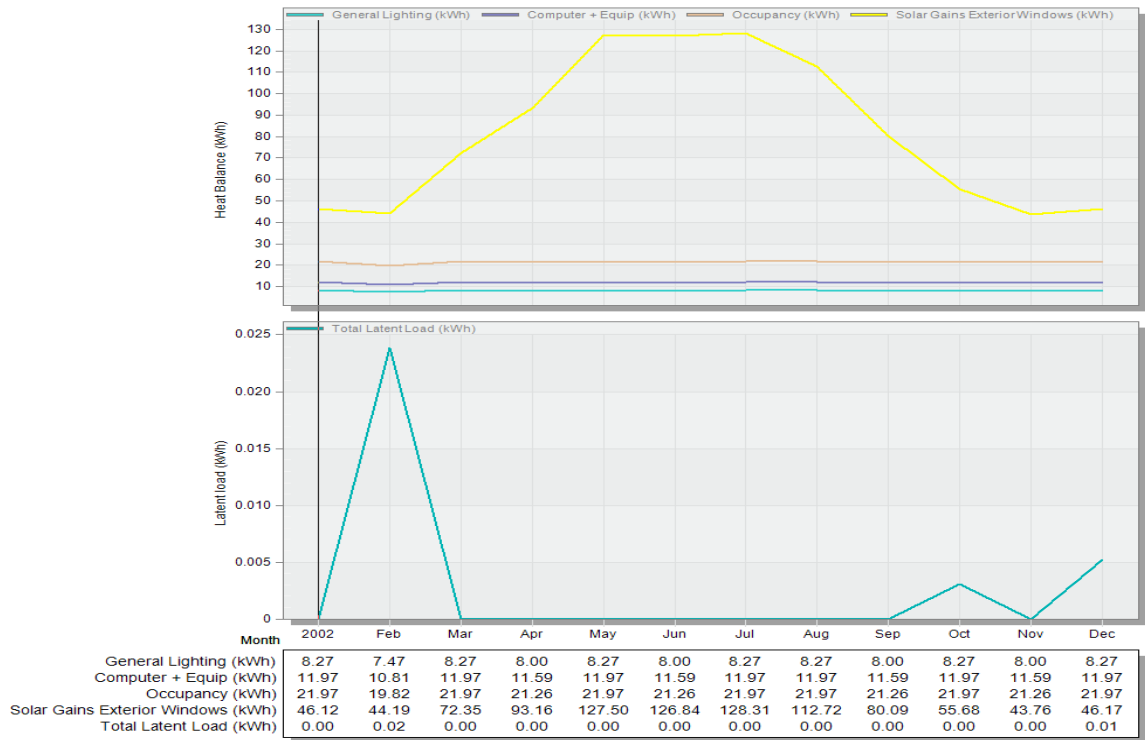
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

8.27  
EnergyPlus Output

Figura 113: Ganancias internas T4, dormitorio Norte

Internal Gains + solar - Segundo nivel, Dormitorio\_norte  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

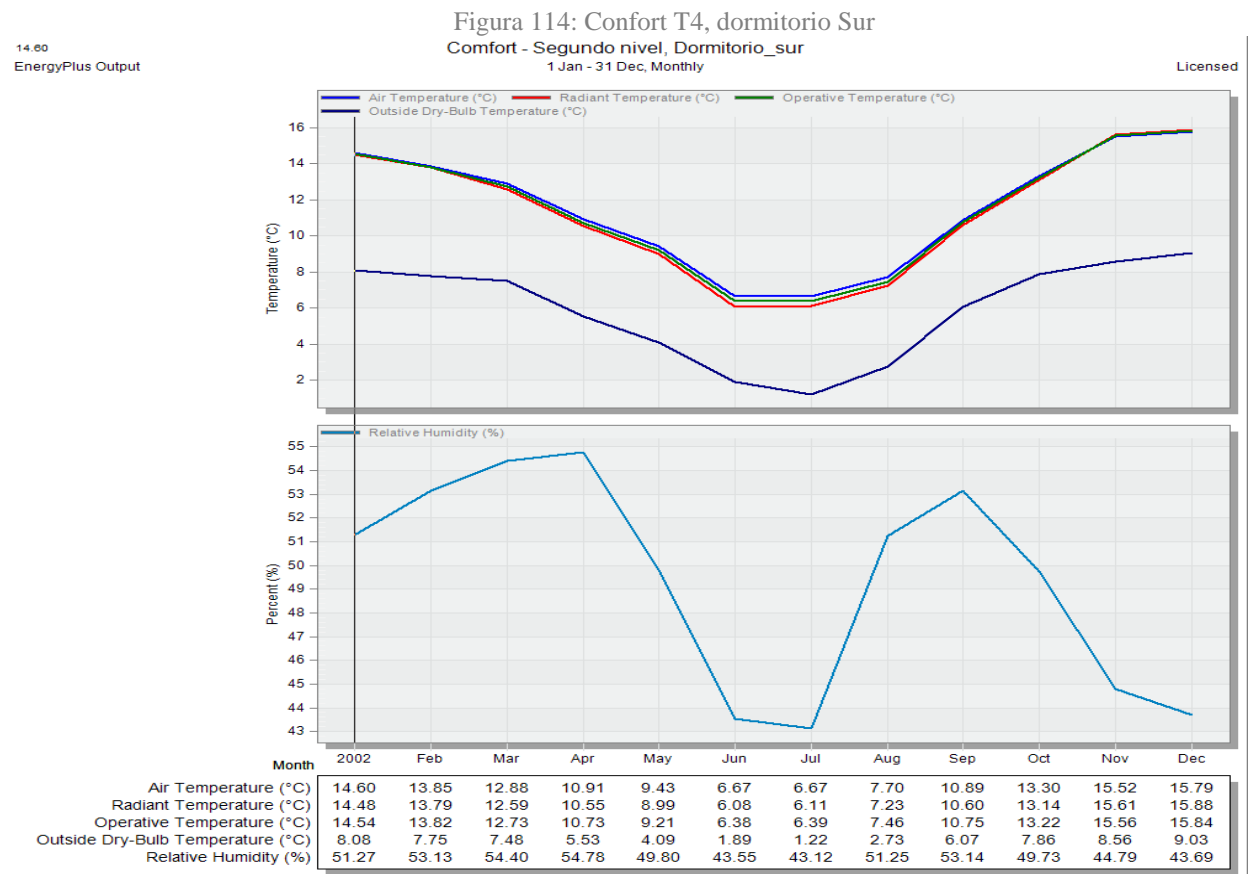


*T4/ Dormitorio Sur:*

-Figura 114, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 47,30% y 59,94%.

-Figura 115, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través las paredes externas (Walls), la ventilación natural interior (internal natural vent.), las renovaciones de aire por hora quedan entre 0,51 y 1,27 AC/h.

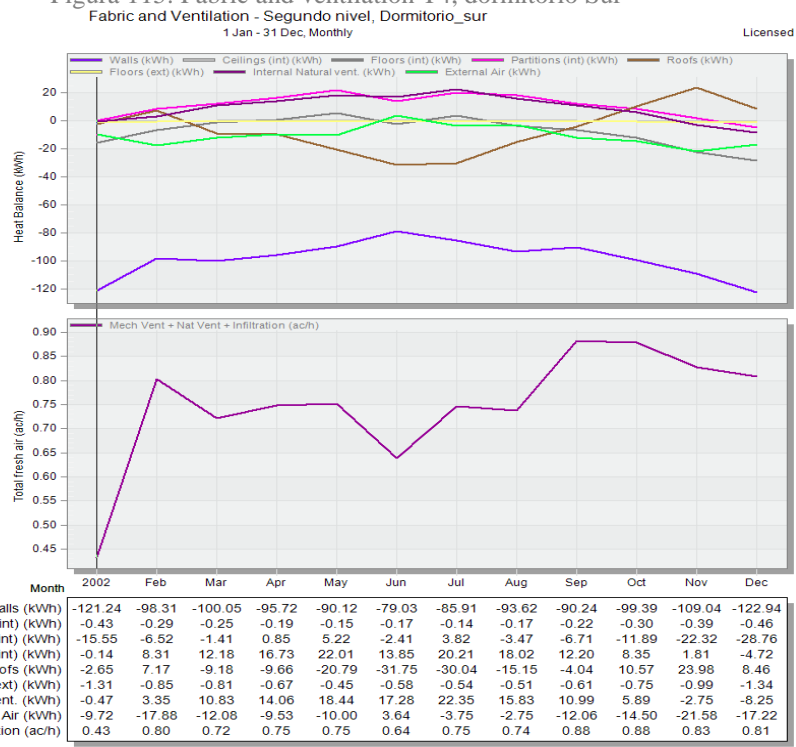
-Figura 116, muestra las ganancias solares provienen de las dos ventanas ubicadas en cara Sur en los meses de enero y diciembre.



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

-121.24  
EnergyPlus Output

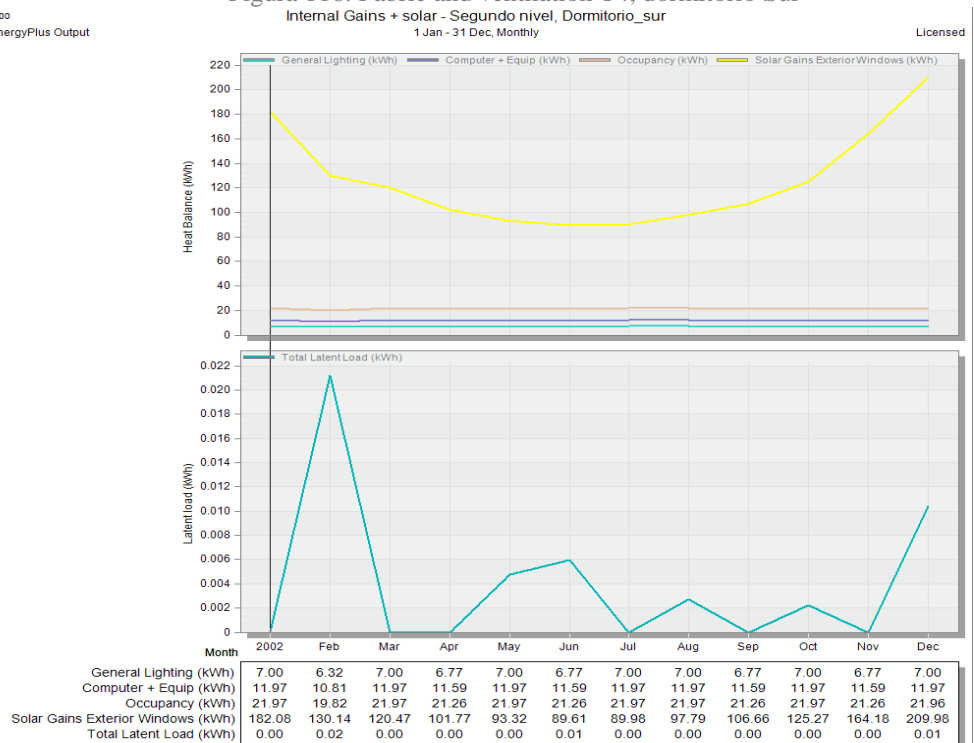
Figura 115: Fabric and ventilation T4, dormitorio Sur



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

7.00  
EnergyPlus Output

Figura 116: Fabric and ventilation T4, dormitorio Sur



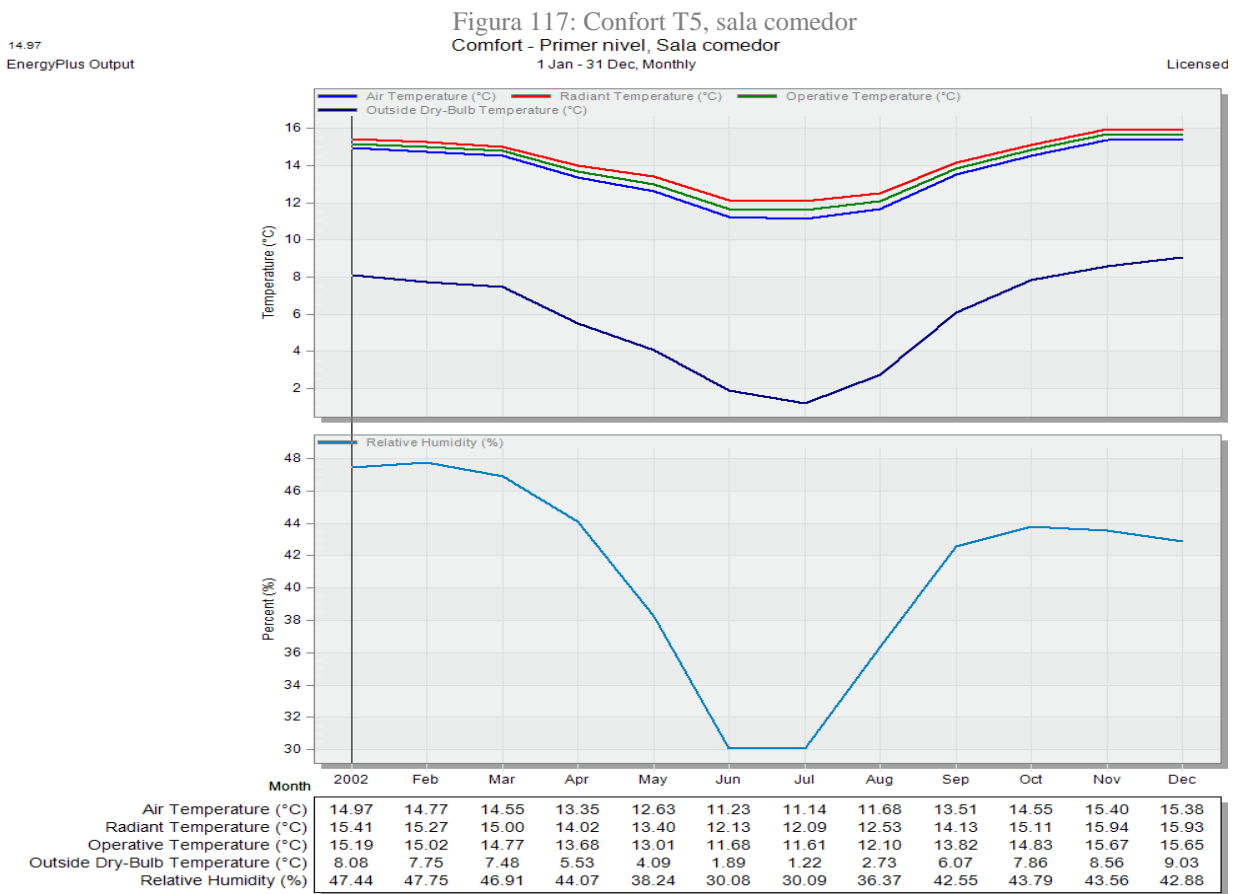
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

*T5/ Sala-comedor:*

-Figura 117, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 30,08% y 47,75%.

-Figura 118, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través los muros (walls) y el aire externo (external air), las renovaciones de aire por hora quedan entre 1,50 y 1,79 AC/h. Véase la Figura 97.

-Figura 119, muestra las ganancias solares provienen de las dos ventanas ubicadas en cara Norte y Sur alcanzando un máximo de 195,24 kWh en el mes de diciembre.



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

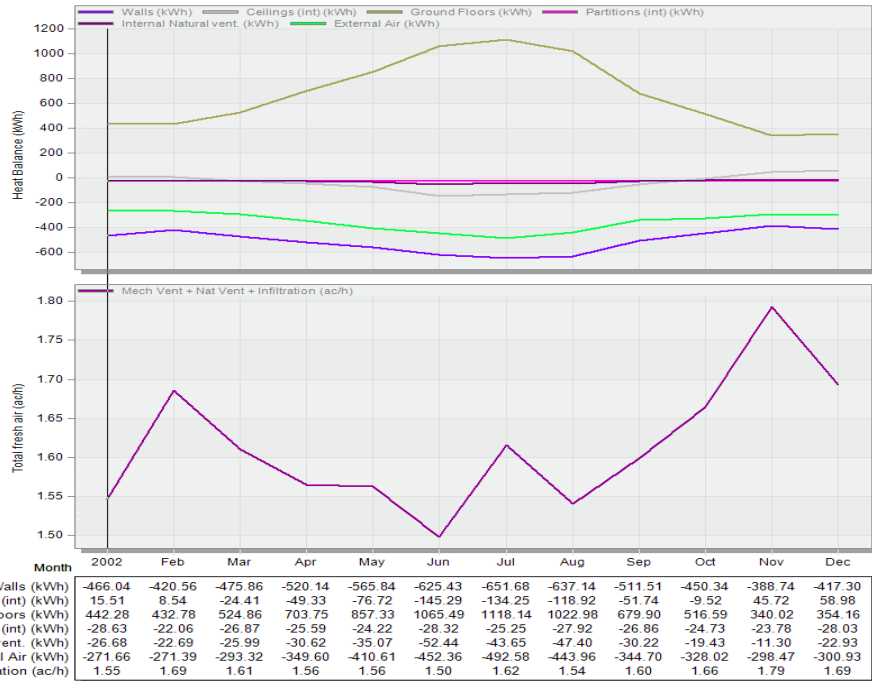
-466.04  
EnergyPlus Output

Figura 118: Fabric and ventilation T5, sala-comedor

Fabric and Ventilation - Primer nivel, Sala comedor

1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

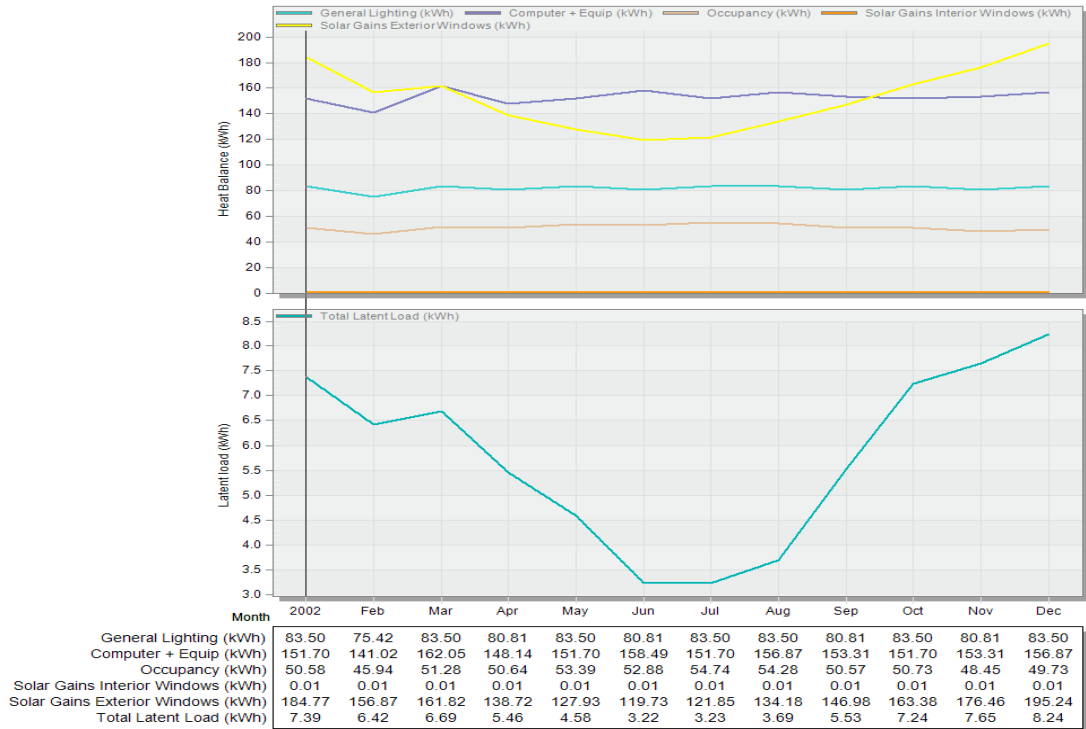
83.50  
EnergyPlus Output

Figura 119: Ganancias internas T5, sala comedor

Internal Gains + solar - Primer nivel, Sala comedor

1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



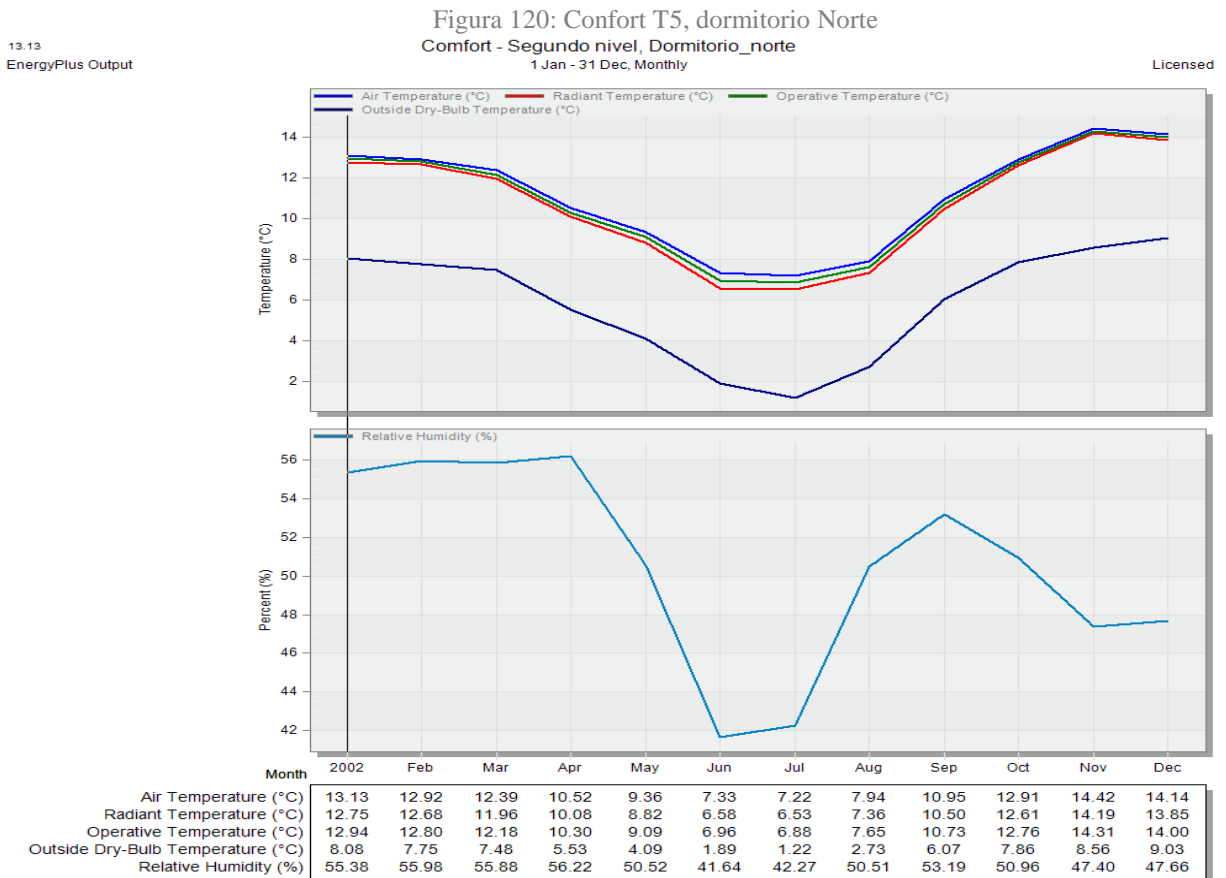
Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

*T5/Dormitorio Norte*

-Figura 120, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 41,64% y 56,22%.

-Figura 121, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través de las paredes externas (Walls), techo (Roofs), las renovaciones de aire por hora quedan entre 0,56 a 1,17 AC/h. Véase la Figura 97.

-Figura 122, muestra las ganancias principalmente solar



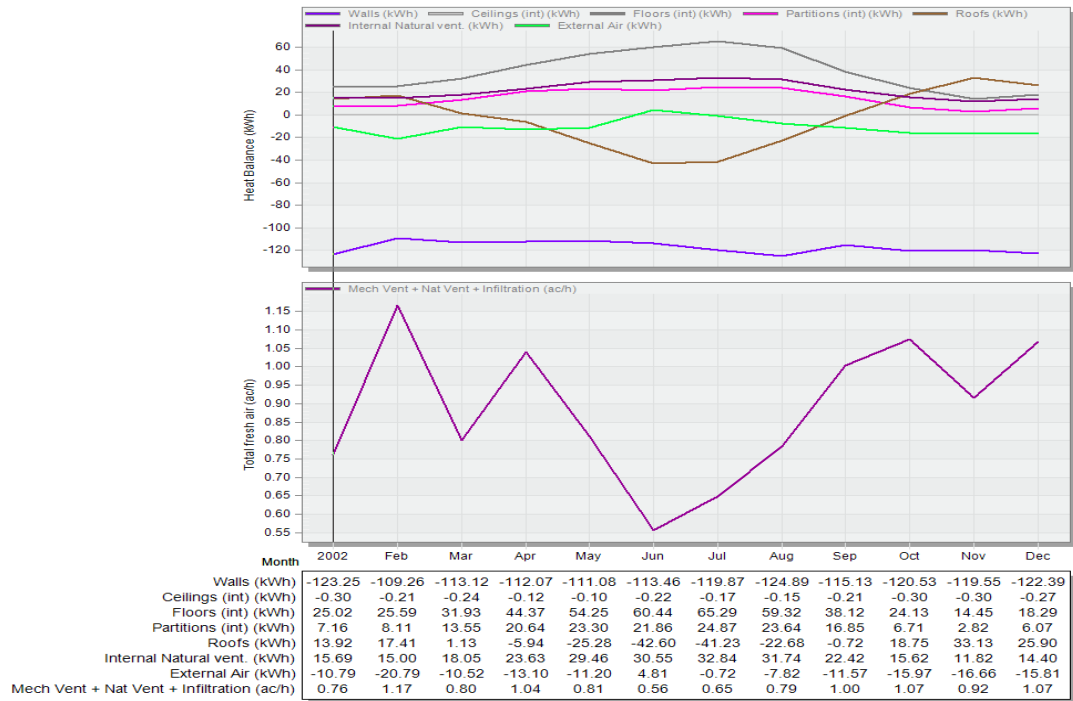
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 121: Fabric and ventilation T5, dormitorio Norte

-123.25  
EnergyPlus Output

Fabric and Ventilation - Segundo nivel, Dormitorio\_norte  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

Licensed



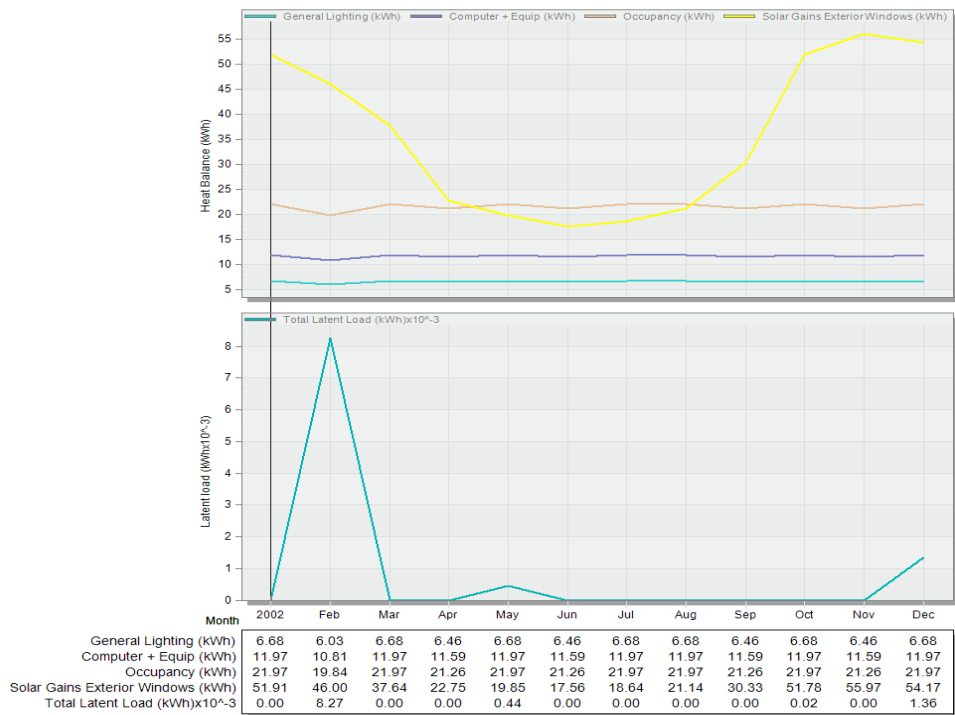
Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

Figura 122: Ganancias internas T5, dormitorio Norte

6.68  
EnergyPlus Output

Internal Gains + solar - Segundo nivel, Dormitorio\_norte  
1 Jan - 31 Dec, Monthly

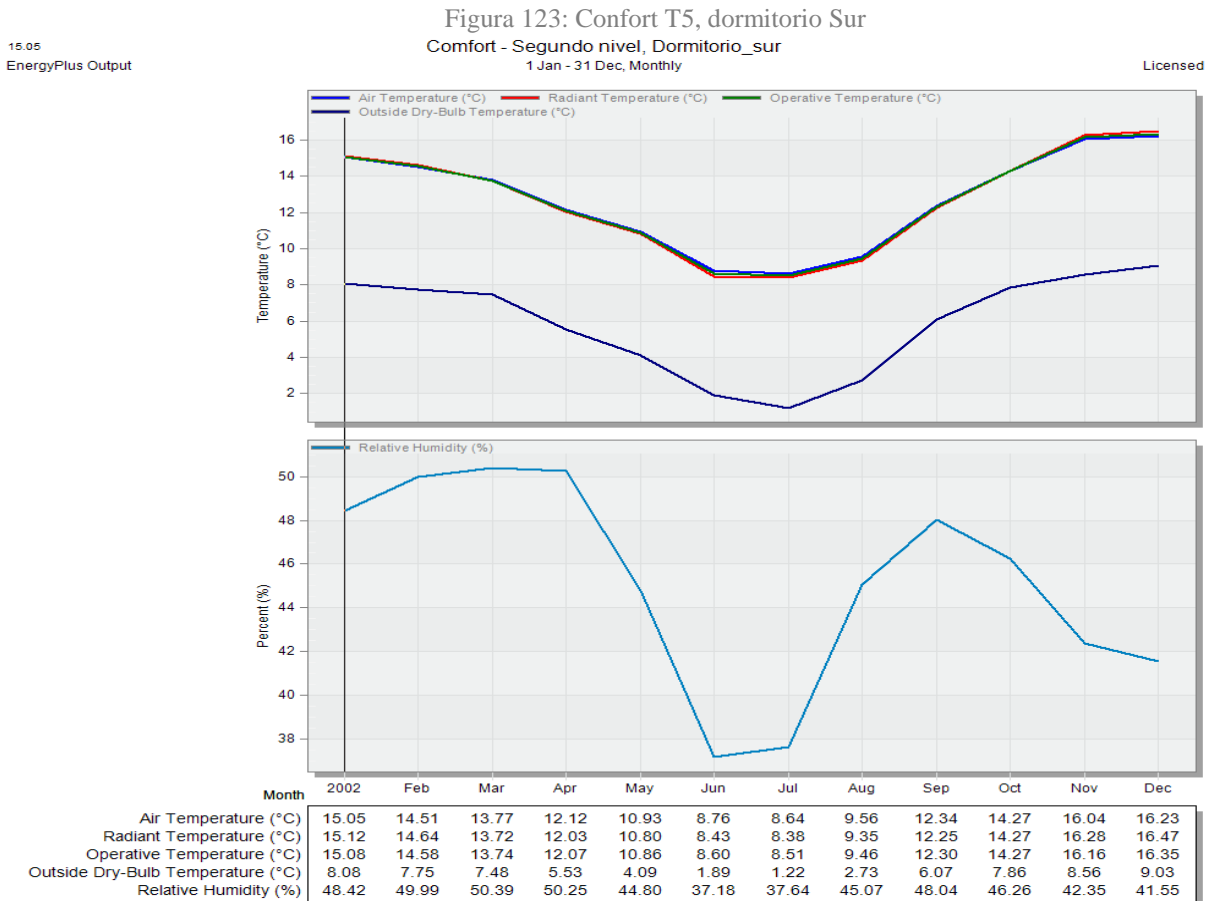
Licensed



Fuente: Captura de imagen del programa Design builder

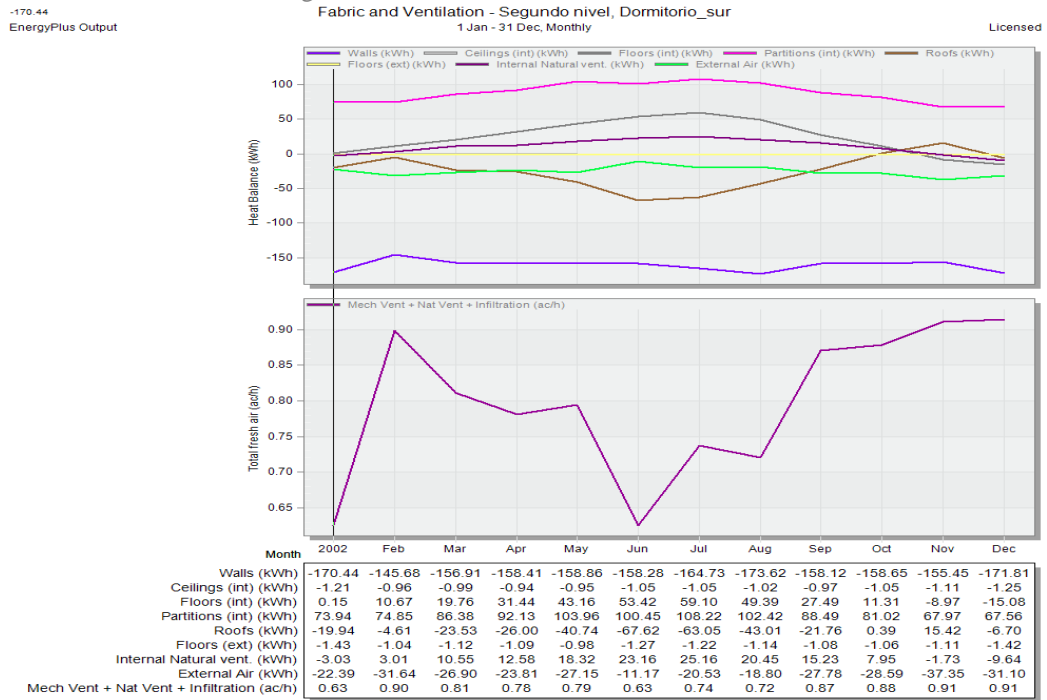
*T5/ Dormitorio Sur:*

- La Figura 123, muestra la TO interior anual y la humedad relativa entre 37,18% y 50,25%.
- La Figura 124, muestra las pérdidas de calor de la envoltoria a través de paredes externas (Walls), la techo (Roofs), las renovaciones de aire por hora quedan entre 0,63 y 0,91 AC/h.
- La Figura 125, muestra las ganancias principalmente solar que proviene de la ventana Sur.



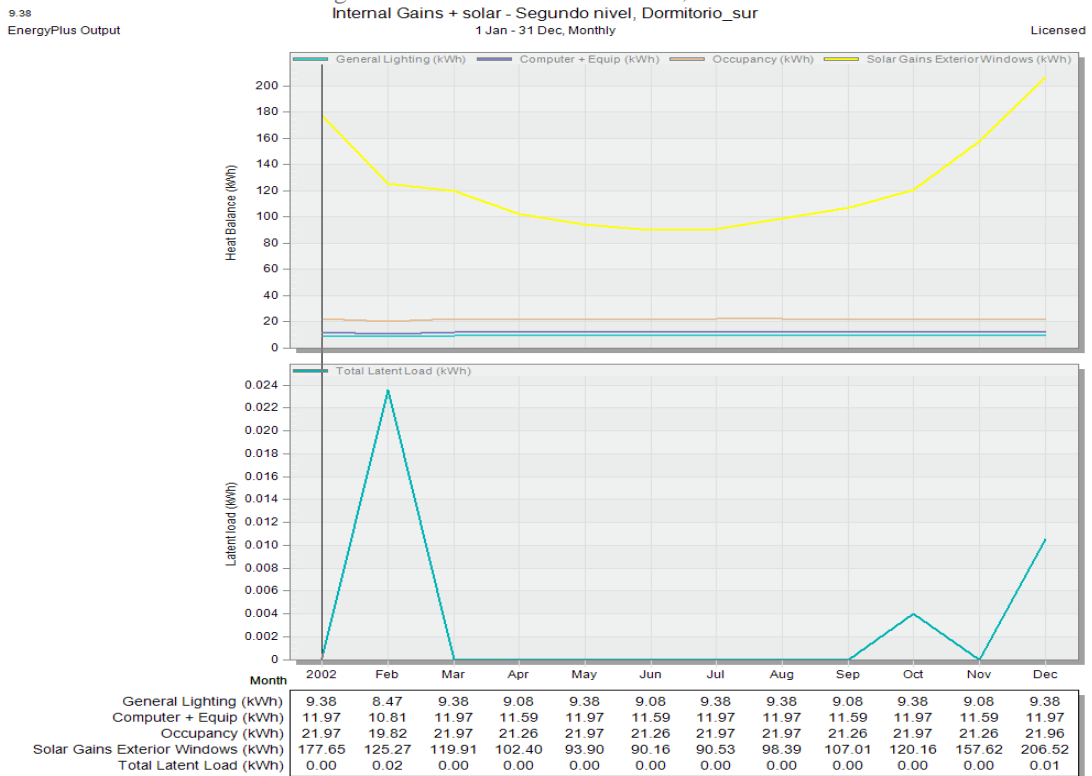
Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 124: Fabric and ventilation T5, dormitorio Sur



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*

Figura 125: Ganancias internas T5, dormitorio Sur



Fuente: Captura de imagen del programa *Design builder*



### ANEXO 8

*T2/Ambiente múltiple POC anual y día típico:* Para esta tipología se observa que inicia con 8,1% de confort anual por lo que para las combinaciones propuestas solo la MET 3+CS permite alcanzar niveles aceptables Tabla 99. Respecto al día típico solo la combinación MET 3+CS, muestra porcentajes de confort entre el 50% y 79,2%, en la Tabla 100.

Tabla 99: POC- anual, ambiente múltiple – T2

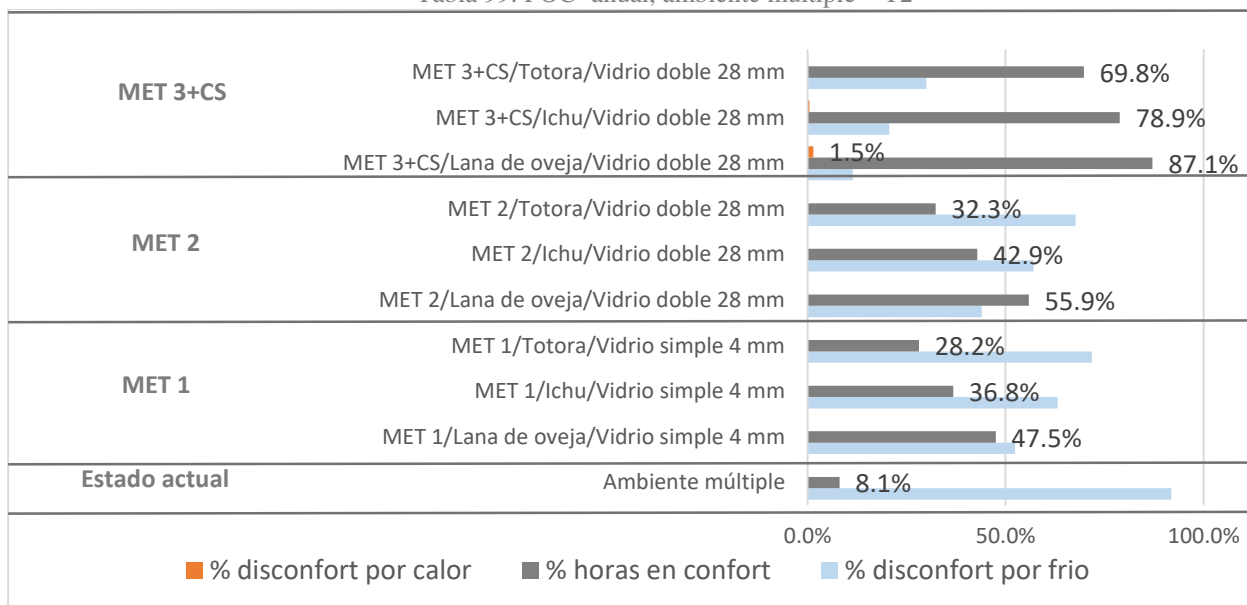
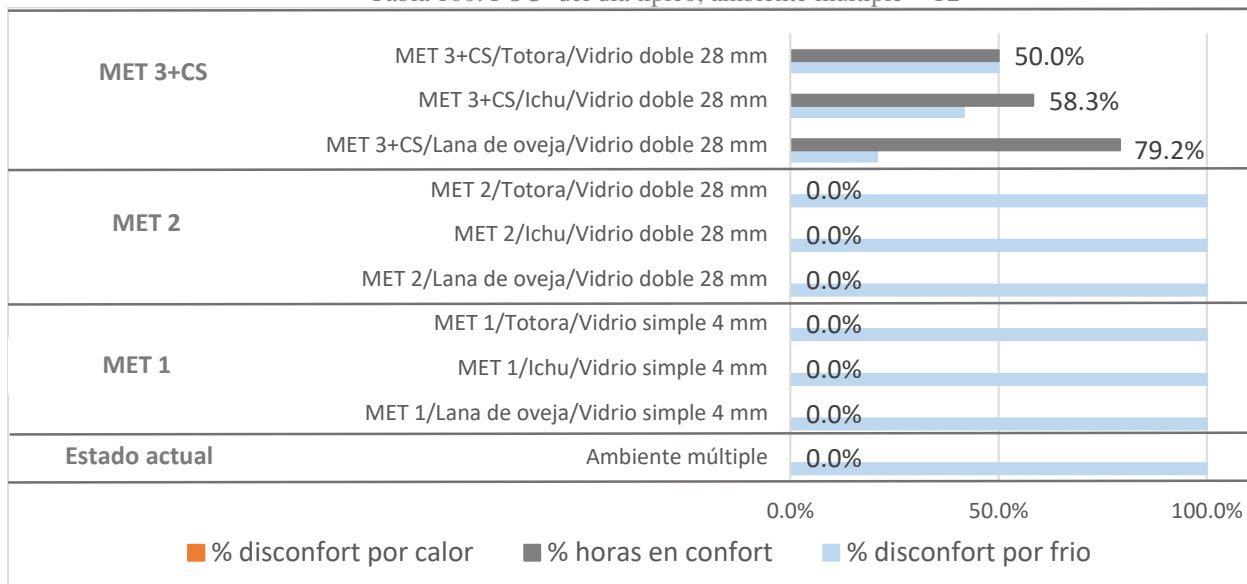


Tabla 100: POC- del día típico, ambiente múltiple – T2

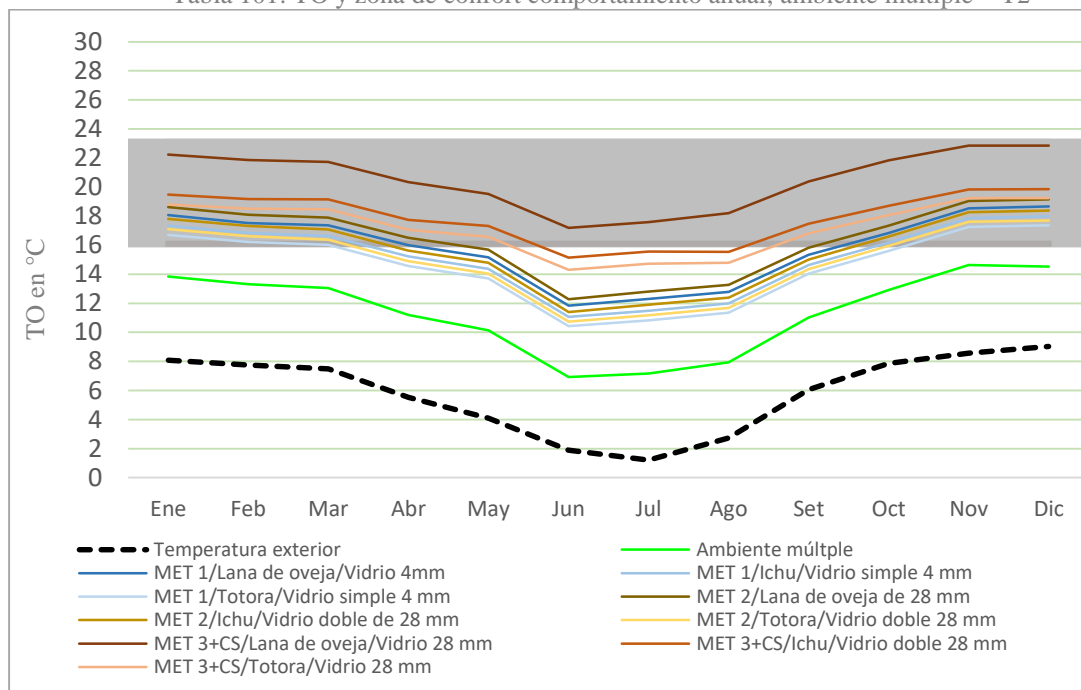


Fuente: Elaboración propia

*T2/Ambiente múltiple, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico:*

Se observa que para el ambiente múltiple después de los cambios propuestos solo la combinación MET 3+CS presentan temperaturas operativas anuales que se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad propuestos sobre todo en los meses más cálidos, Tabla 101 y Tabla 102.

Tabla 101: TO y zona de confort comportamiento anual, ambiente múltiple – T2



Fuente: Elaboración propia

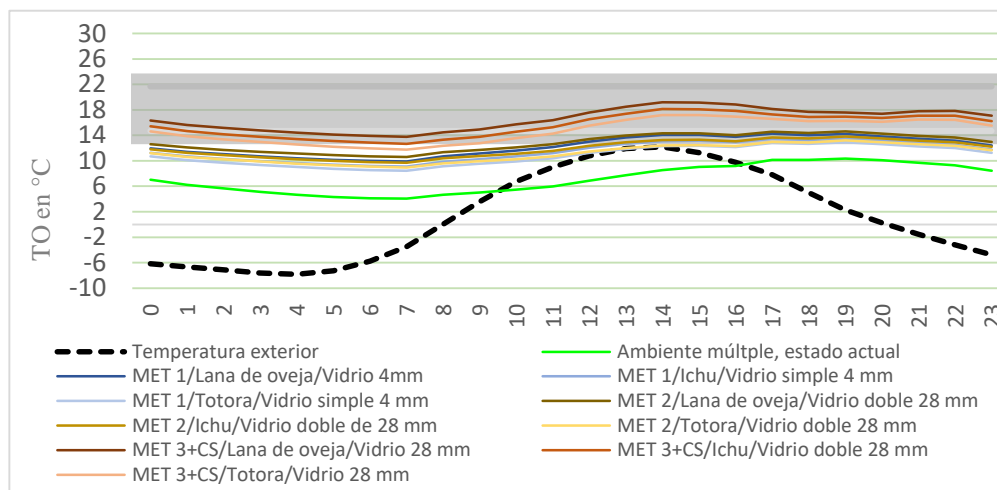
Tabla 102: TO detallado mensual y promedio anual, ambiente múltiple- T2

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totorá	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totorá	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totorá
<b>Ene</b>	8,1	13,8	18,1	17,4	16,7	18,6	17,8	17,1	22,2	19,5	18,8
<b>Feb</b>	7,8	13,3	17,5	16,8	16,2	18,1	17,3	16,6	21,9	19,2	18,5
<b>Mar</b>	7,5	13,1	17,4	16,7	16,0	17,9	17,1	16,4	21,7	19,1	18,5
<b>Abr</b>	5,5	11,2	16,0	15,2	14,6	16,5	15,6	14,9	20,4	17,7	17,1
<b>May</b>	4,1	10,1	15,2	14,4	13,7	15,7	14,8	14,0	19,5	17,3	16,6
<b>Jun</b>	1,9	6,9	11,8	11,1	10,4	12,3	11,4	10,7	17,2	15,1	14,3
<b>Jul</b>	1,2	7,2	12,3	11,5	10,8	12,8	11,9	11,2	17,6	15,6	14,7
<b>Ago</b>	2,7	7,9	12,8	12,0	11,4	13,3	12,4	11,7	18,2	15,5	14,8
<b>Set</b>	6,1	11,0	15,4	14,6	14,0	15,8	15,0	14,3	20,4	17,5	16,8
<b>Oct</b>	7,9	12,9	16,8	16,2	15,6	17,4	16,6	15,9	21,8	18,7	18,1
<b>Nov</b>	8,6	14,6	18,5	17,8	17,2	19,0	18,3	17,6	22,9	19,8	19,2
<b>Dic</b>	9,0	14,5	18,7	18,0	17,4	19,2	18,4	17,7	22,9	19,9	19,2
<b>MEDIA</b>	5,9	11,4	15,9	15,1	14,5	16,4	15,5	14,9	20,6	17,9	17,2

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico Tabla 103, solo la tercera combinación se encuentra dentro de los límites de aceptabilidad, mostrando temperaturas estables a lo largo del día por encima de la temperatura exterior.

Tabla 103: TO y zona de confort, comportamiento del día típico de invierno, ambiente múltiple – T2



Fuente: Elaboración propia

Tabla 104: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, ambiente múltiple – T2

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
00:00:00	-6.2	7.0	12.0	11.3	10.7	12.6	11.8	11.2	16.3	15.4	14.6
01:00:00	-6.7	6.2	11.4	10.7	10.1	12.1	11.3	10.6	15.6	14.7	13.9
02:00:00	-7.1	5.7	11.0	10.3	9.7	11.7	10.9	10.2	15.2	14.2	13.4
03:00:00	-7.6	5.1	10.7	10.0	9.3	11.4	10.6	9.9	14.8	13.8	12.9
04:00:00	-7.8	4.7	10.4	9.6	9.0	11.1	10.3	9.6	14.4	13.4	12.6
05:00:00	-7.3	4.3	10.2	9.4	8.7	10.9	10.0	9.3	14.1	13.1	12.2
06:00:00	-5.8	4.1	10.0	9.2	8.5	10.7	9.8	9.1	13.9	12.8	11.9
07:00:00	-3.5	4.1	9.9	9.1	8.4	10.6	9.7	9.0	13.8	12.7	11.7
08:00:00	0.0	4.7	10.7	9.8	9.1	11.3	10.4	9.6	14.5	13.3	12.4
09:00:00	3.6	5.0	11.1	10.3	9.5	11.7	10.7	9.9	14.9	13.8	12.7
10:00:00	6.7	5.4	11.6	10.7	9.9	12.1	11.1	10.3	15.7	14.6	13.5
11:00:00	9.0	6.0	12.1	11.2	10.4	12.6	11.6	10.7	16.4	15.3	14.3
12:00:00	10.8	6.9	13.0	12.1	11.2	13.4	12.4	11.5	17.6	16.5	15.5
13:00:00	11.9	7.7	13.6	12.7	11.9	14.0	12.9	12.0	18.5	17.4	16.5
14:00:00	12.2	8.5	14.1	13.1	12.3	14.3	13.3	12.4	19.2	18.2	17.2
15:00:00	11.3	9.0	14.1	13.2	12.4	14.3	13.3	12.5	19.1	18.1	17.2
16:00:00	9.7	9.2	13.8	12.9	12.2	14.0	13.1	12.3	18.9	17.8	17.0
17:00:00	7.8	10.1	14.3	13.5	12.8	14.6	13.7	13.0	18.1	17.3	16.6
18:00:00	5.0	10.1	14.0	13.3	12.7	14.4	13.5	12.9	17.7	16.9	16.2
19:00:00	2.3	10.4	14.2	13.5	12.9	14.6	13.8	13.2	17.6	16.9	16.3
20:00:00	0.3	10.1	13.8	13.2	12.6	14.3	13.5	12.9	17.4	16.7	16.1
21:00:00	-1.5	9.7	13.5	12.8	12.3	13.9	13.2	12.6	17.8	17.1	16.5
22:00:00	-3.2	9.3	13.2	12.5	12.0	13.7	12.9	12.3	17.9	17.1	16.4
23:00:00	-4.8	8.4	12.4	11.8	11.2	12.9	12.2	11.6	17.1	16.3	15.5
MEDIA	1.2	7.2	12.3	11.5	10.8	12.8	11.9	11.2	16.5	15.6	14.7

Fuente: Elaboración propia

*T3/Ambiente múltiple POC anual y día típico:* Para esta tipología se observa que inicia con 3,5% de confort anual todas las combinaciones propuestas permiten alcanzar niveles aceptables. Respecto al día típico los porcentajes de horas de confort se mantienen entre 70,8% y 100%. Tabla 105 y Tabla 106.

Tabla 105: POC, anual, sala – T3

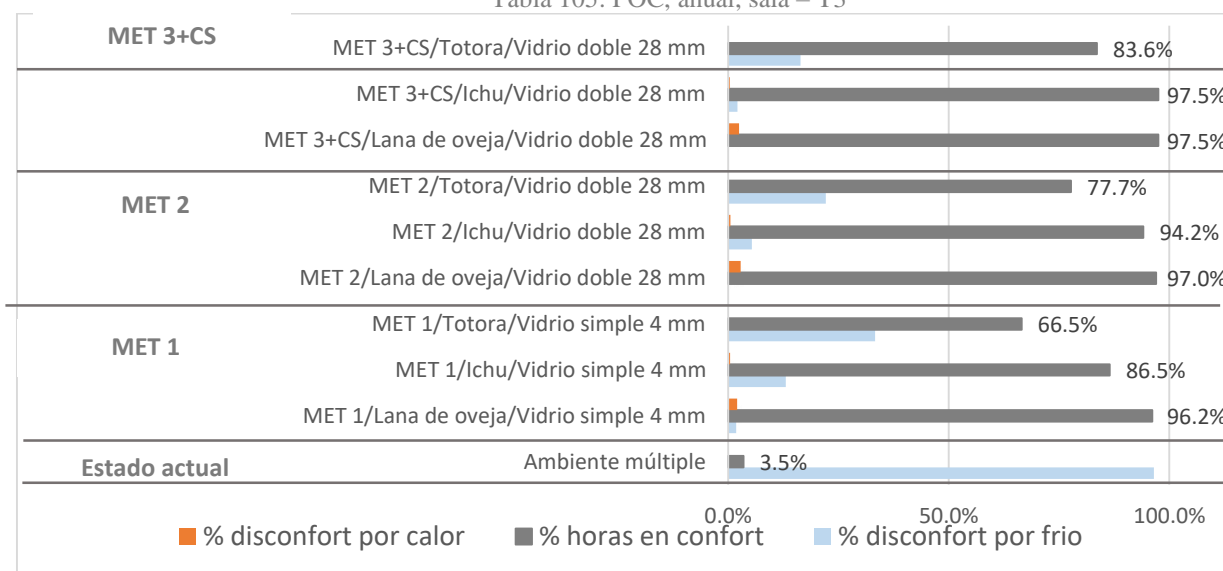
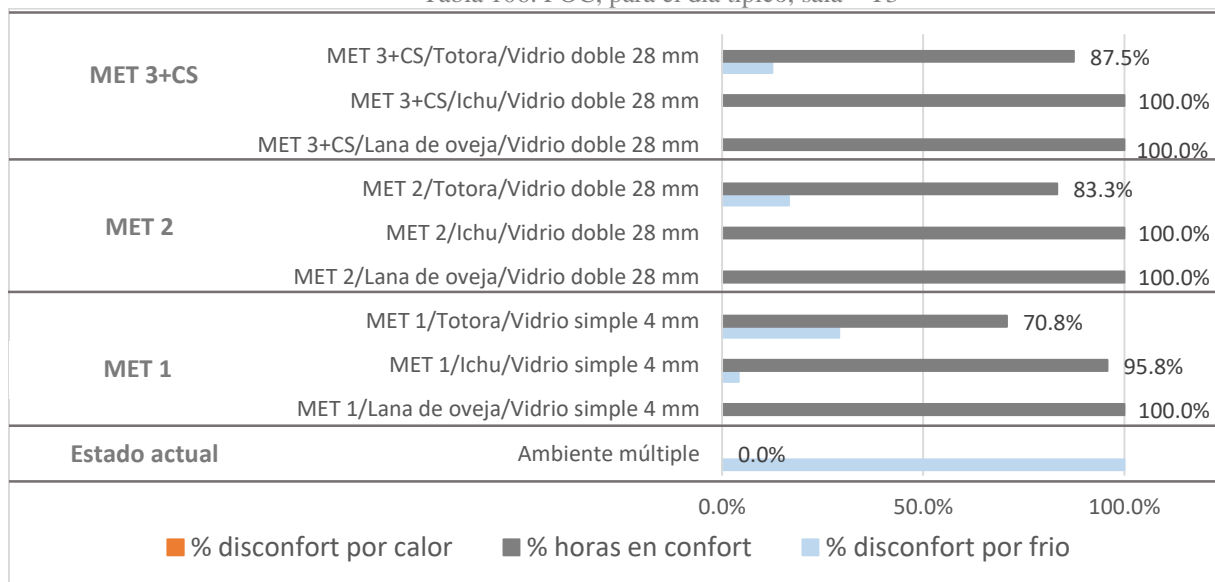


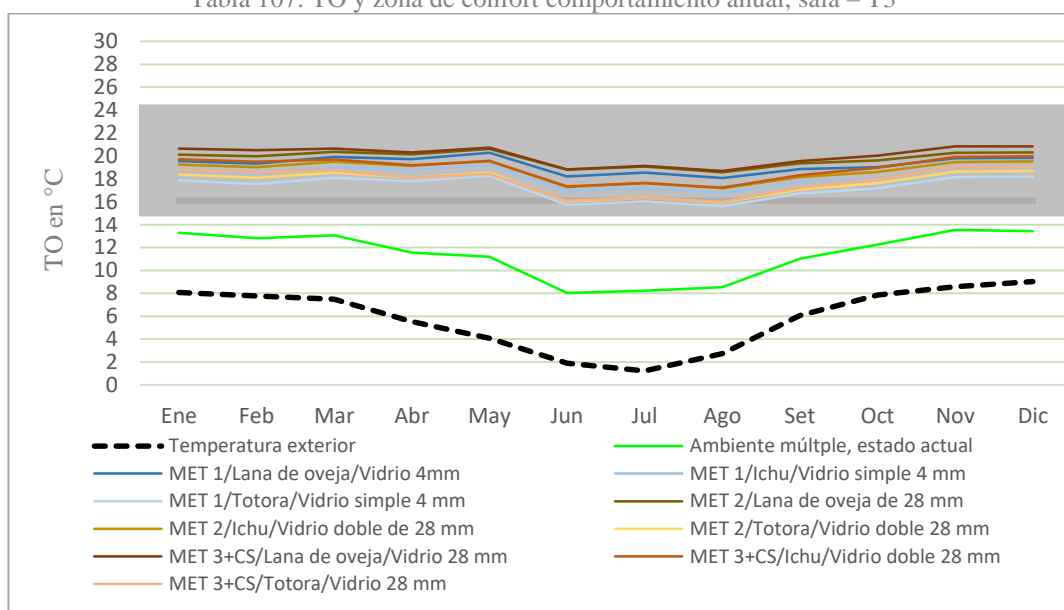
Tabla 106: POC, para el día típico, sala – T3



Fuente: Elaboración propia

*T3/Sala-comedor, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico:* Se observa en la Tabla 107 y Tabla 108 que para el ambiente múltiple después de los cambios propuestos todas las combinaciones presentan temperaturas operativas anuales que se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad.

Tabla 107: TO y zona de confort comportamiento anual, sala – T3



Fuente: Elaboración propia

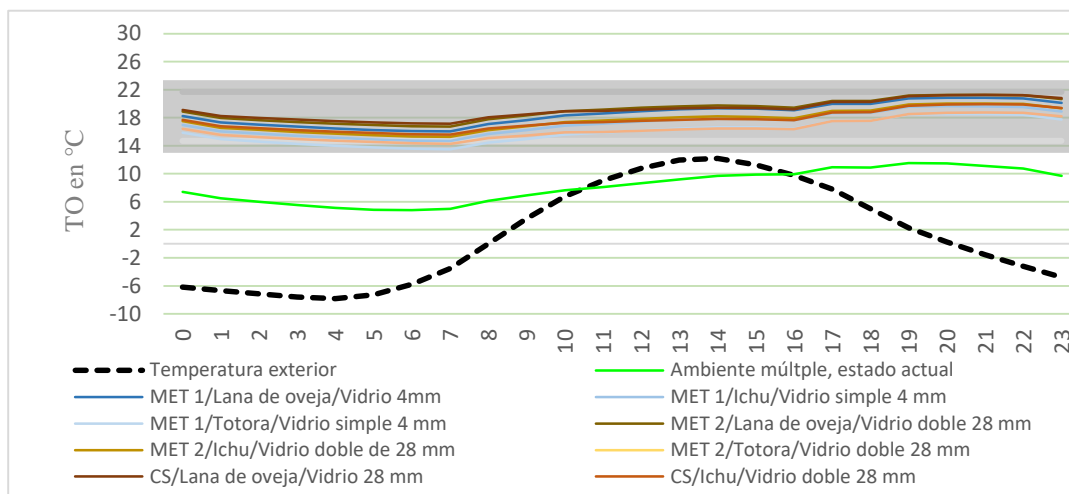
Tabla 108: TO detalle mensual y promedio anual, sala – T3

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
<b>Ene</b>	8,1	13,3	19,6	18,7	17,9	20,1	19,3	18,4	20,6	19,7	18,8
<b>Feb</b>	7,8	12,8	19,3	18,4	17,6	20,0	19,0	18,1	20,5	19,5	18,5
<b>Mar</b>	7,5	13,1	19,9	19,0	18,1	20,3	19,5	18,5	20,7	19,7	18,7
<b>Abr</b>	5,5	11,6	19,7	18,8	17,8	20,1	19,1	18,1	20,3	19,2	18,1
<b>May</b>	4,1	11,2	20,3	19,2	18,3	20,6	19,6	18,5	20,7	19,6	18,4
<b>Jun</b>	1,9	8,0	18,2	16,9	15,7	18,8	17,3	16,0	18,8	17,3	16,1
<b>Jul</b>	1,2	8,2	18,5	17,2	16,0	19,1	17,6	16,3	19,1	17,6	16,3
<b>Ago</b>	2,7	8,5	18,1	16,8	15,6	18,6	17,2	15,9	18,7	17,2	16,0
<b>Set</b>	6,1	11,0	18,8	17,7	16,7	19,4	18,2	17,1	19,6	18,3	17,2
<b>Oct</b>	7,9	12,3	19,0	18,0	17,2	19,6	18,6	17,6	20,0	19,0	18,0
<b>Nov</b>	8,6	13,6	19,8	19,0	18,2	20,3	19,5	18,6	20,8	19,9	19,0
<b>Dic</b>	9,0	13,4	19,8	19,0	18,2	20,3	19,5	18,7	20,9	20,0	19,1
<b>MEDIA</b>	5,9	11,4	19,3	18,2	17,3	19,8	18,7	17,7	20,1	18,9	17,9

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico todas las combinaciones se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad Tabla 109 y Tabla 110, mostrando temperaturas estables a lo largo del día por encima de la temperatura exterior sobre todo entre las 19:00 y 23:00 h.

Tabla 109: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, sala – T3



Fuente: Elaboración propia

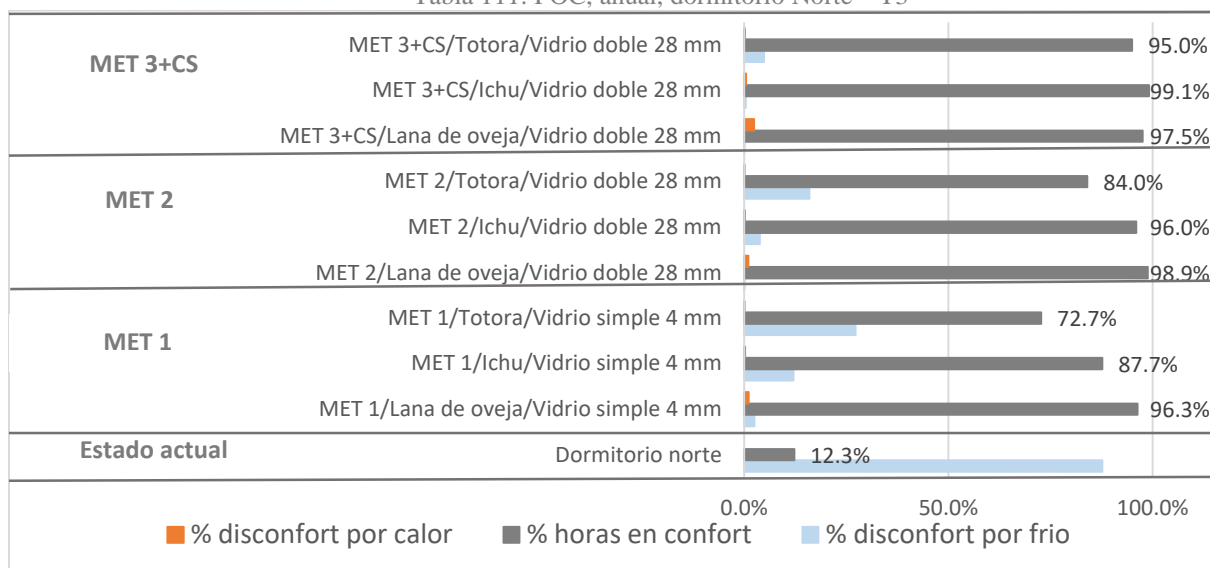
Tabla 110: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, sala – T3

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
00:00:00	-6.2	10.2	17.8	16.6	15.5	18.6	17.4	16.2	19.7	18.5	17.4
01:00:00	-6.7	9.6	17.4	16.1	15.0	18.3	17.0	15.7	19.2	18.0	17.0
02:00:00	-7.1	9.0	17.0	15.7	14.6	18.0	16.6	15.4	18.9	17.7	16.6
03:00:00	-7.6	8.4	16.7	15.4	14.2	17.7	16.3	15.0	18.5	17.3	16.2
04:00:00	-7.8	7.8	16.3	15.0	13.9	17.4	16.0	14.7	18.2	16.9	15.9
05:00:00	-7.3	7.3	16.1	14.7	13.5	17.1	15.7	14.3	17.9	16.6	15.5
06:00:00	-5.8	6.9	15.8	14.4	13.2	16.9	15.4	14.0	17.6	16.3	15.2
07:00:00	-3.5	6.7	15.8	14.4	13.2	16.9	15.3	13.9	17.4	16.1	15.0
08:00:00	0.0	7.1	16.6	15.2	13.9	17.6	16.0	14.5	17.7	16.4	15.3
09:00:00	3.6	8.1	18.0	16.5	15.2	18.8	17.2	15.7	18.3	17.0	15.9
10:00:00	6.7	8.8	19.0	17.5	16.1	19.5	18.0	16.5	18.4	17.1	16.0
11:00:00	9.0	9.7	19.8	18.4	17.0	20.2	18.8	17.3	18.9	17.6	16.4
12:00:00	10.8	10.5	20.3	19.0	17.7	20.6	19.2	17.8	19.2	17.9	16.8
13:00:00	11.9	11.4	20.7	19.5	18.2	20.9	19.6	18.3	19.5	18.2	17.1
14:00:00	12.2	12.3	21.0	19.8	18.6	21.1	19.9	18.6	19.9	18.6	17.5
15:00:00	11.3	12.8	20.9	19.8	18.6	21.0	19.9	18.6	20.2	18.9	17.8
16:00:00	9.7	13.1	20.5	19.5	18.4	20.7	19.6	18.5	20.6	19.3	18.2
17:00:00	7.8	13.2	20.1	19.1	18.1	20.3	19.4	18.2	20.7	19.4	18.3
18:00:00	5.0	13.0	19.7	18.7	17.7	20.0	19.0	17.9	20.7	19.4	18.4
19:00:00	2.3	13.0	19.5	18.5	17.5	19.9	18.9	17.8	20.4	19.3	18.3
20:00:00	0.3	12.8	19.3	18.3	17.3	19.8	18.8	17.7	20.5	19.4	18.5
21:00:00	-1.5	12.4	19.2	18.1	17.1	19.6	18.6	17.5	20.6	19.5	18.6
22:00:00	-3.2	12.0	18.9	17.8	16.8	19.5	18.4	17.3	20.7	19.5	18.5
23:00:00	-4.8	11.4	18.7	17.6	16.5	19.4	18.3	17.1	20.5	19.3	18.3
MEDIA	1.2	10.3	18.6	17.3	16.2	19.2	17.9	16.6	19.3	18.1	17.0

Fuente: Elaboración propia

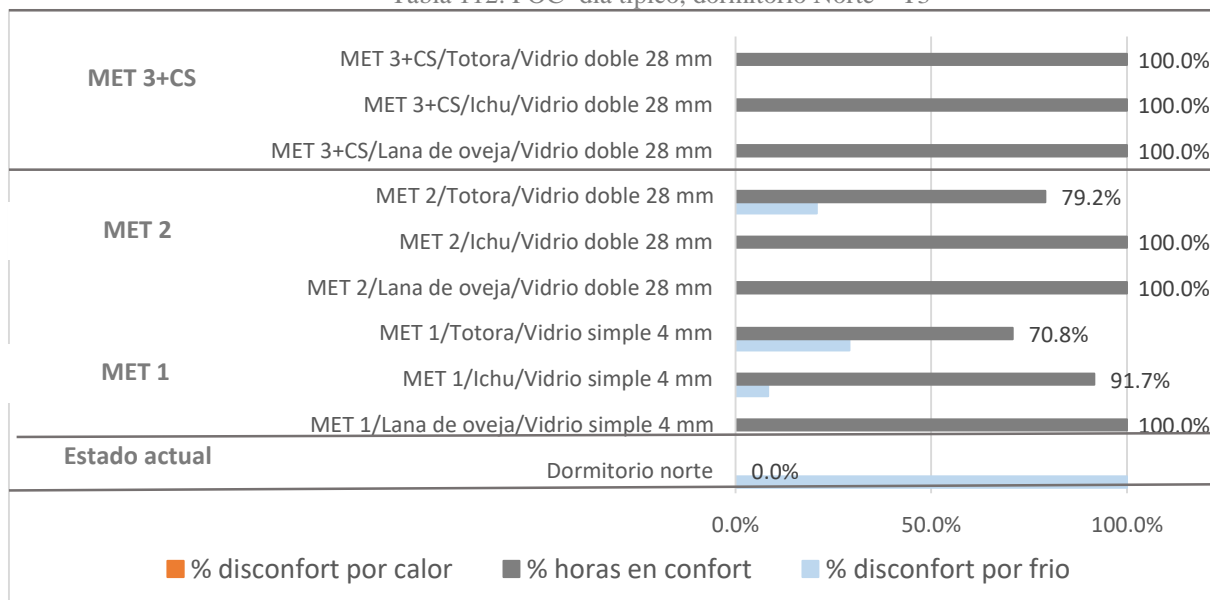
*T3/Dormitorio Norte-POC anual y día típico:* Para esta tipología se observa que inicia con 12,3% de confort anual y todas las combinaciones propuestas alcanzan niveles aceptables. Tabla 111. Respecto al día típico los porcentajes de horas de confort se mantienen entre 70,8% al 100%. Tabla 112

Tabla 111: POC, anual, dormitorio Norte – T3



Fuente: Elaboración propia

Tabla 112: POC- día típico, dormitorio Norte – T3

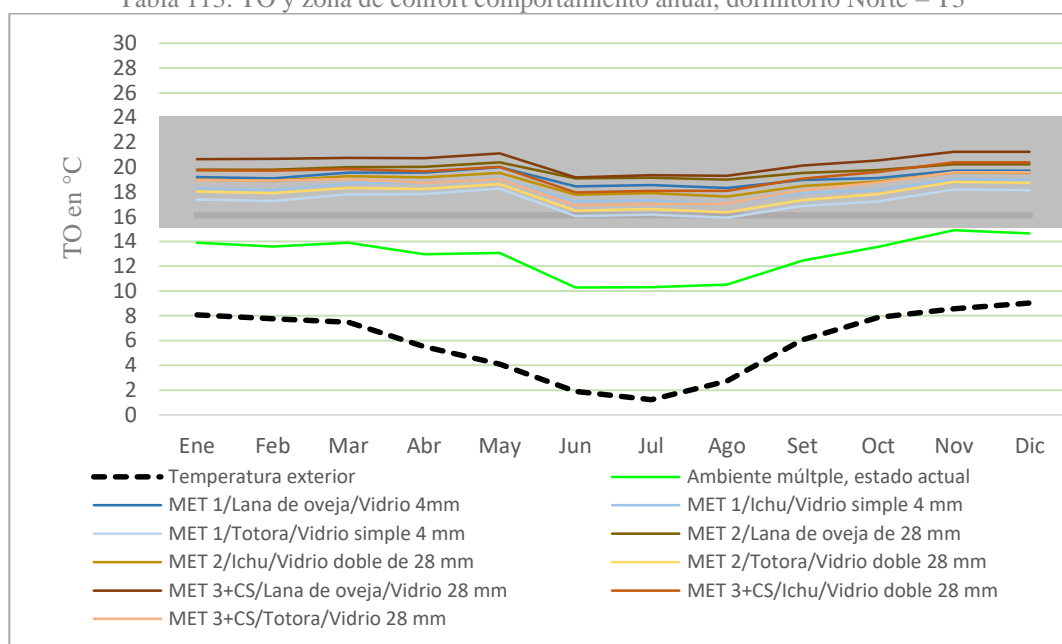


Fuente: Elaboración propia

*T3/Dormitorio Norte, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico:*

Se observa que, para el dormitorio Norte después de los cambios propuestos, todas las combinaciones presentan temperaturas operativas anuales que se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad, Tabla 113 y Tabla 114.

Tabla 113: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Norte – T3



Fuente: Elaboración propia

Tabla 114: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Norte – T3

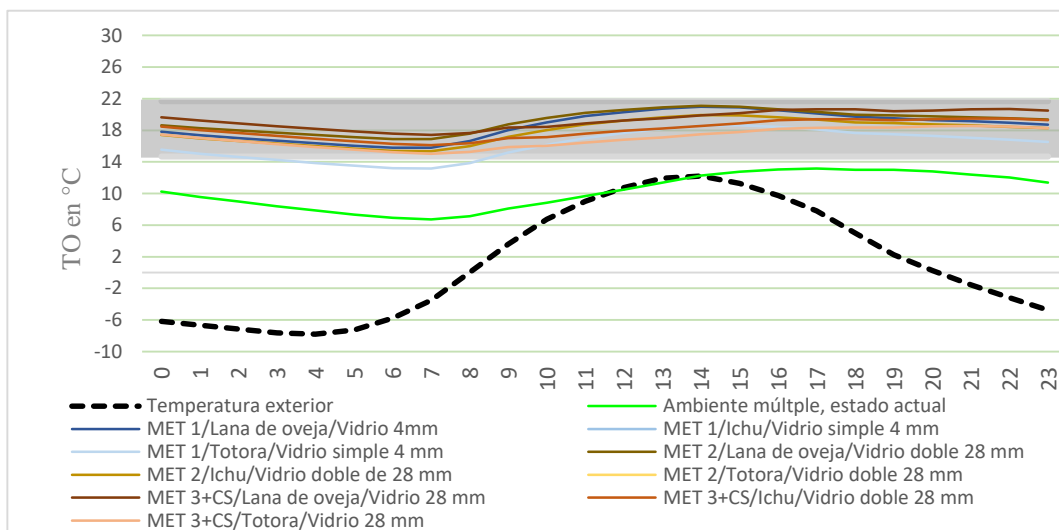
	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET3+CS, Lana	MET3+CS, Ichu	MET3+CS, Totora
<b>Ene</b>	8,1	13,9	19,2	18,3	17,4	19,8	19,0	18,0	20,6	19,7	18,9
<b>Feb</b>	7,8	13,6	19,1	18,1	17,3	19,8	18,9	17,9	20,7	19,7	18,9
<b>Mar</b>	7,5	13,9	19,6	18,7	17,8	20,0	19,3	18,3	20,7	19,8	19,0
<b>Abr</b>	5,5	13,0	19,5	18,7	17,8	20,0	19,2	18,2	20,7	19,7	18,7
<b>May</b>	4,1	13,1	20,0	19,1	18,3	20,4	19,5	18,6	21,1	20,0	19,0
<b>Jun</b>	1,9	10,3	18,4	17,2	16,1	19,1	17,8	16,5	19,2	17,9	16,9
<b>Jul</b>	1,2	10,3	18,6	17,3	16,2	19,2	17,9	16,6	19,3	18,1	17,0
<b>Ago</b>	2,7	10,5	18,3	17,1	15,9	19,0	17,6	16,3	19,3	18,1	17,0
<b>Set</b>	6,1	12,5	19,0	17,9	16,9	19,5	18,5	17,3	20,1	19,1	18,1
<b>Oct</b>	7,9	13,6	19,1	18,1	17,2	19,8	18,8	17,8	20,5	19,6	18,7
<b>Nov</b>	8,6	14,9	19,7	19,0	18,2	20,2	19,6	18,8	21,2	20,4	19,6
<b>Dic</b>	9,0	14,6	19,7	19,0	18,1	20,2	19,5	18,7	21,2	20,4	19,6
<b>MEDIA</b>	5,9	12,8	19,2	18,2	17,3	19,7	18,8	17,8	20,4	19,4	18,5

Fuente: Elaboración propia



En lo que respecta al día típico todas las combinaciones se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad, mostrando temperaturas estables a lo largo del día por encima de la temperatura exterior, Tabla 115 y Tabla 116.

Tabla 115: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio norte – T3



Fuente: Elaboración propia

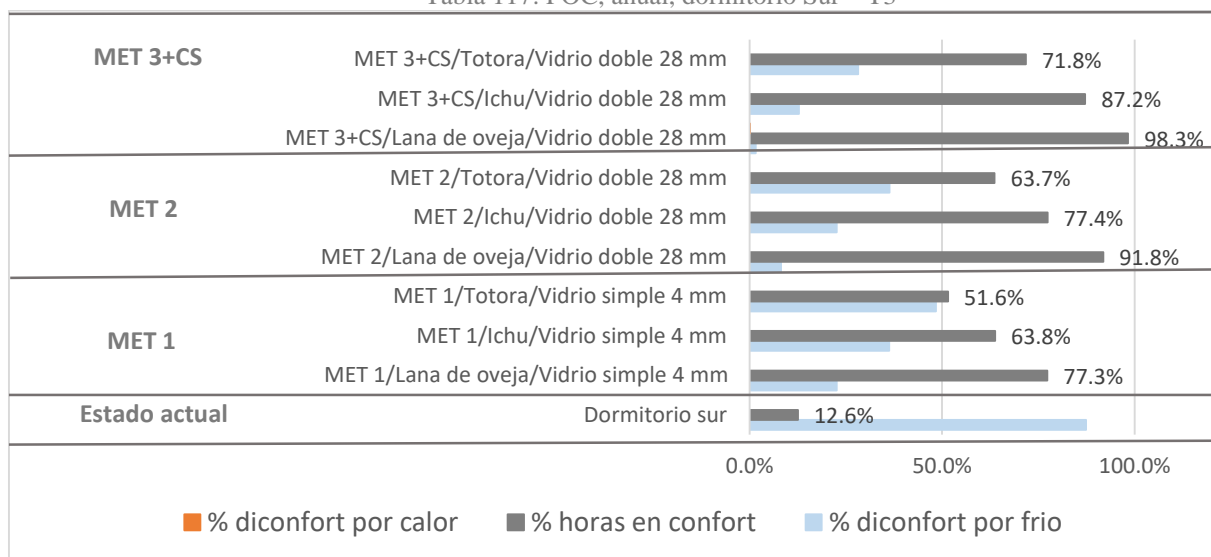
Tabla 116: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Norte – T3

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
00:00:00	-6.2	10.2	17.8	16.6	15.5	18.6	17.4	16.2	19.7	18.5	17.4
01:00:00	-6.7	9.6	17.4	16.1	15.0	18.3	17.0	15.7	19.2	18.0	17.0
02:00:00	-7.1	9.0	17.0	15.7	14.6	18.0	16.6	15.4	18.9	17.7	16.6
03:00:00	-7.6	8.4	16.7	15.4	14.2	17.7	16.3	15.0	18.5	17.3	16.2
04:00:00	-7.8	7.8	16.3	15.0	13.9	17.4	16.0	14.7	18.2	16.9	15.9
05:00:00	-7.3	7.3	16.1	14.7	13.5	17.1	15.7	14.3	17.9	16.6	15.5
06:00:00	-5.8	6.9	15.8	14.4	13.2	16.9	15.4	14.0	17.6	16.3	15.2
07:00:00	-3.5	6.7	15.8	14.4	13.2	16.9	15.3	13.9	17.4	16.1	15.0
08:00:00	0.0	7.1	16.6	15.2	13.9	17.6	16.0	14.5	17.7	16.4	15.3
09:00:00	3.6	8.1	18.0	16.5	15.2	18.8	17.2	15.7	18.3	17.0	15.9
10:00:00	6.7	8.8	19.0	17.5	16.1	19.5	18.0	16.5	18.4	17.1	16.0
11:00:00	9.0	9.7	19.8	18.4	17.0	20.2	18.8	17.3	18.9	17.6	16.4
12:00:00	10.8	10.5	20.3	19.0	17.7	20.6	19.2	17.8	19.2	17.9	16.8
13:00:00	11.9	11.4	20.7	19.5	18.2	20.9	19.6	18.3	19.5	18.2	17.1
14:00:00	12.2	12.3	21.0	19.8	18.6	21.1	19.9	18.6	19.9	18.6	17.5
15:00:00	11.3	12.8	20.9	19.8	18.6	21.0	19.9	18.6	20.2	18.9	17.8
16:00:00	9.7	13.1	20.5	19.5	18.4	20.7	19.6	18.5	20.6	19.3	18.2
17:00:00	7.8	13.2	20.1	19.1	18.1	20.3	19.4	18.2	20.7	19.4	18.3
18:00:00	5.0	13.0	19.7	18.7	17.7	20.0	19.0	17.9	20.7	19.4	18.4
19:00:00	2.3	13.0	19.5	18.5	17.5	19.9	18.9	17.8	20.4	19.3	18.3
20:00:00	0.3	12.8	19.3	18.3	17.3	19.8	18.8	17.7	20.5	19.4	18.5
21:00:00	-1.5	12.4	19.2	18.1	17.1	19.6	18.6	17.5	20.6	19.5	18.6
22:00:00	-3.2	12.0	18.9	17.8	16.8	19.5	18.4	17.3	20.7	19.5	18.5
23:00:00	-4.8	11.4	18.7	17.6	16.5	19.4	18.3	17.1	20.5	19.3	18.3
MEDIA	1.2	10.3	18.6	17.3	16.2	19.2	17.9	16.6	19.3	18.1	17.0

Fuente: Elaboración propia

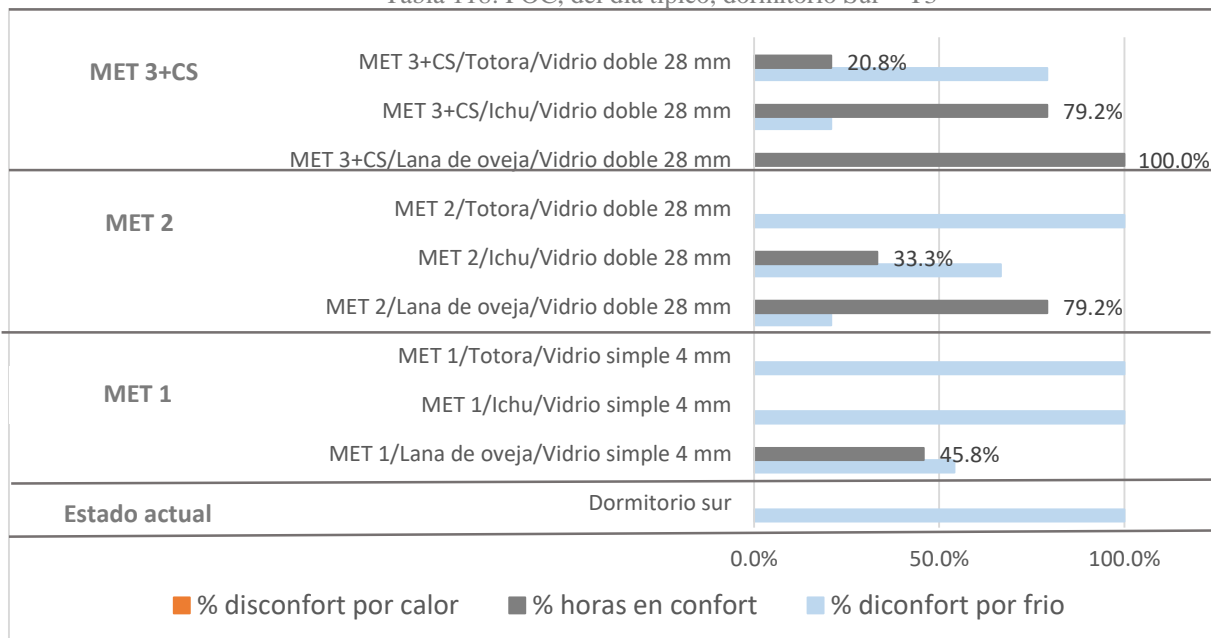
**T3/Dormitorio Sur POC anual y día típico:** Para el dormitorio Sur se observa que inicia con 12,6% de confort anual, todas las combinaciones propuestas permiten alcanzar niveles aceptables. Respecto al día típico solo la tercera combinación permite lograr el 100% de confort para dicho día. Véase la Tabla 117 y Tabla 118.

Tabla 117: POC, anual, dormitorio Sur – T3



Fuente: Elaboración propia

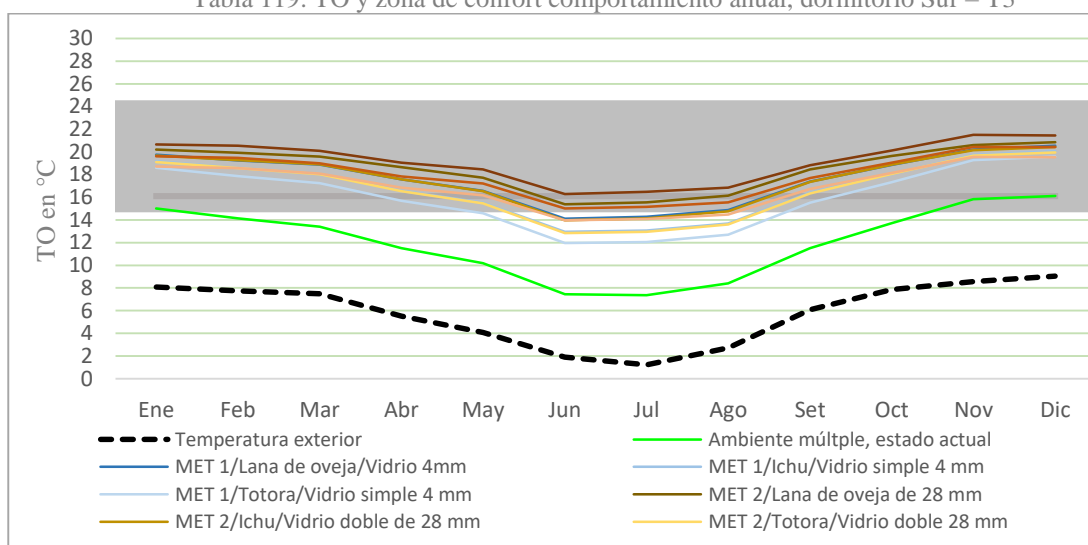
Tabla 118: POC, del día típico, dormitorio Sur – T3



Fuente: Elaboración propia

T3/Dormitorio Sur, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico: Se observa que para el dormitorio Sur después de los cambios propuestos todas las combinaciones presentan temperaturas operativas anuales dentro de los límites de confort en los meses que recibe sol. Véase la Tabla 119 y Tabla 120.

Tabla 119: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Sur – T3



Fuente: Elaboración propia

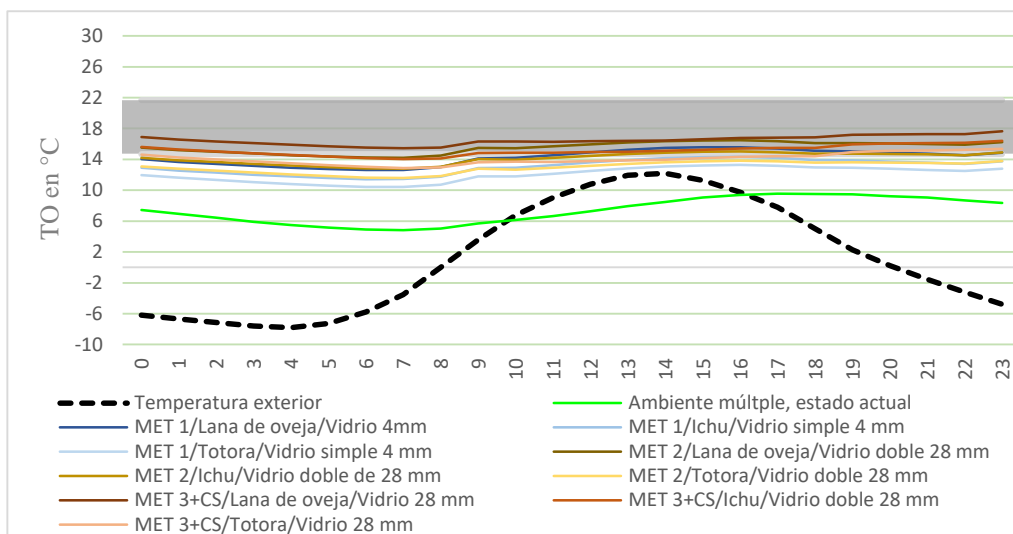
Tabla 120: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Sur – T3

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET3+CS, Lana	MET3+CS, Ichu	MET3+CS, Totora
<b>Ene</b>	8,1	15,0	19,8	19,2	18,6	20,2	19,7	19,1	20,7	19,6	18,7
<b>Feb</b>	7,8	14,1	19,3	18,6	17,9	19,9	19,3	18,6	20,5	19,5	18,6
<b>Mar</b>	7,5	13,4	18,9	18,1	17,2	19,6	18,9	18,0	20,1	19,0	18,1
<b>Abr</b>	5,5	11,5	17,6	16,6	15,7	18,7	17,6	16,5	19,0	17,8	16,9
<b>May</b>	4,1	10,2	16,6	15,5	14,6	17,7	16,5	15,5	18,5	17,2	16,2
<b>Jun</b>	1,9	7,4	14,1	13,0	12,0	15,4	14,0	12,8	16,3	15,0	14,0
<b>Jul</b>	1,2	7,4	14,3	13,1	12,1	15,5	14,1	13,0	16,5	15,2	14,1
<b>Ago</b>	2,7	8,4	14,9	13,7	12,7	16,1	14,8	13,6	16,9	15,6	14,5
<b>Set</b>	6,1	11,5	17,4	16,4	15,5	18,5	17,4	16,3	18,8	17,7	16,7
<b>Oct</b>	7,9	13,7	18,8	18,1	17,3	19,6	18,9	18,1	20,1	19,0	18,2
<b>Nov</b>	8,6	15,8	20,2	19,7	19,3	20,6	20,2	19,7	21,5	20,4	19,6
<b>Dic</b>	9,0	16,1	20,6	20,1	19,6	20,9	20,4	20,0	21,4	20,4	19,5
<b>MEDIA</b>	5,9	12,1	17,7	16,8	16,0	18,6	17,6	16,8	19,2	18,0	17,1

Fuente: Elaboración propia

Respecto al día típico todas las combinaciones se encuentran dentro de los límites de aceptabilidad, mostrando temperaturas estables a lo largo del día por encima de la temperatura exterior. Véase la Tabla 121 y Tabla 122:

Tabla 121: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur – T3



Fuente: Elaboración propia

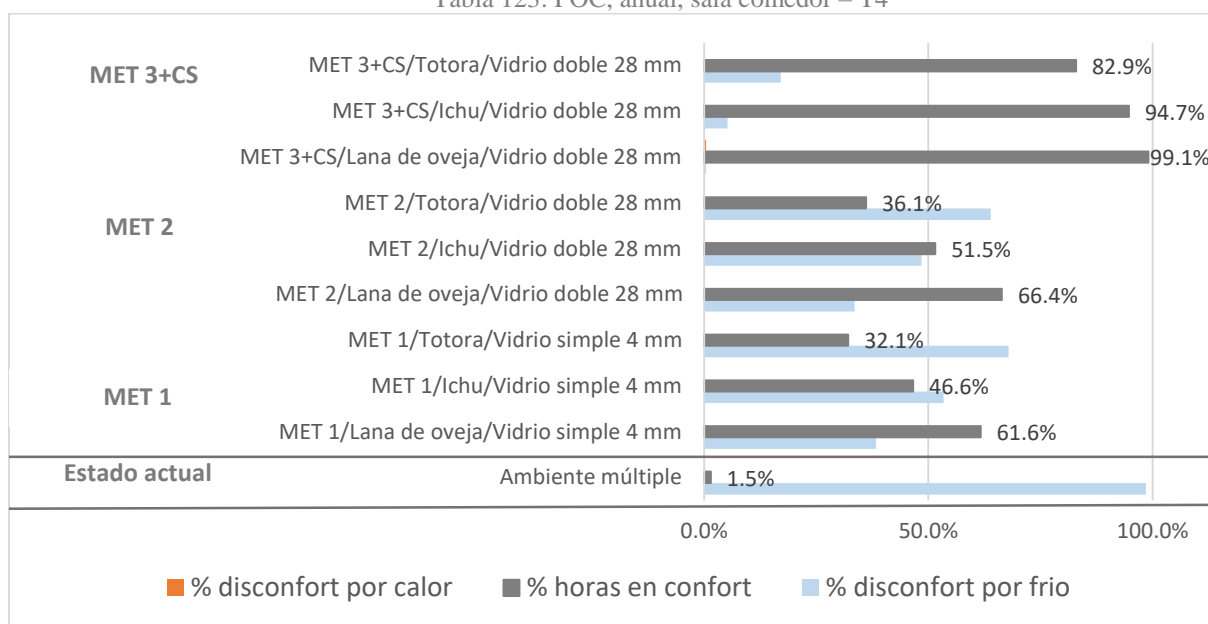
Tabla 122: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur – T3

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Tatora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Tatora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Tatora
00:00:00	-6.2	7.4	14.0	12.9	12.0	15.5	14.2	13.1	16.9	15.6	14.6
01:00:00	-6.7	6.9	13.7	12.6	11.6	15.2	13.9	12.8	16.6	15.3	14.3
02:00:00	-7.1	6.4	13.4	12.3	11.3	15.0	13.6	12.5	16.3	15.0	14.0
03:00:00	-7.6	5.9	13.2	12.0	11.1	14.8	13.4	12.3	16.1	14.8	13.7
04:00:00	-7.8	5.5	12.9	11.8	10.8	14.6	13.2	12.0	15.9	14.6	13.5
05:00:00	-7.3	5.2	12.7	11.6	10.6	14.4	13.0	11.8	15.7	14.4	13.2
06:00:00	-5.8	4.9	12.6	11.4	10.4	14.2	12.8	11.7	15.5	14.2	13.0
07:00:00	-3.5	4.8	12.6	11.4	10.4	14.2	12.8	11.6	15.4	14.0	12.9
08:00:00	0.0	5.0	13.0	11.8	10.7	14.5	13.0	11.8	15.5	14.1	12.9
09:00:00	3.6	5.7	14.1	12.9	11.8	15.5	14.0	12.8	16.3	14.8	13.6
10:00:00	6.7	6.1	14.2	12.9	11.8	15.4	14.0	12.7	16.3	14.9	13.7
11:00:00	9.0	6.6	14.6	13.3	12.1	15.7	14.2	12.9	16.3	14.9	13.7
12:00:00	10.8	7.3	14.9	13.6	12.5	16.0	14.4	13.2	16.4	15.0	13.8
13:00:00	11.9	7.9	15.2	13.9	12.8	16.2	14.7	13.4	16.4	15.0	13.9
14:00:00	12.2	8.5	15.5	14.2	13.1	16.4	14.9	13.6	16.5	15.1	14.0
15:00:00	11.3	9.1	15.6	14.3	13.2	16.4	15.0	13.7	16.6	15.2	14.2
16:00:00	9.7	9.4	15.6	14.3	13.3	16.5	15.0	13.8	16.8	15.4	14.3
17:00:00	7.8	9.5	15.4	14.2	13.2	16.3	14.9	13.8	16.8	15.5	14.4
18:00:00	5.0	9.5	15.1	13.9	12.9	16.1	14.7	13.6	16.8	15.5	14.4
19:00:00	2.3	9.5	15.0	13.9	12.9	16.1	14.8	13.6	17.2	15.9	14.9
20:00:00	0.3	9.2	14.9	13.7	12.8	16.1	14.7	13.6	17.2	16.1	15.1
21:00:00	-1.5	9.1	14.7	13.6	12.6	16.0	14.6	13.5	17.3	16.1	15.2
22:00:00	-3.2	8.7	14.6	13.4	12.5	15.9	14.6	13.4	17.3	16.2	15.2
23:00:00	-4.8	8.4	14.9	13.7	12.8	16.2	14.9	13.8	17.6	16.4	15.4
MEDIA	1.2	7.4	14.3	13.1	12.1	15.5	14.1	13.0	16.5	15.2	14.1

Fuente: Elaboración propia

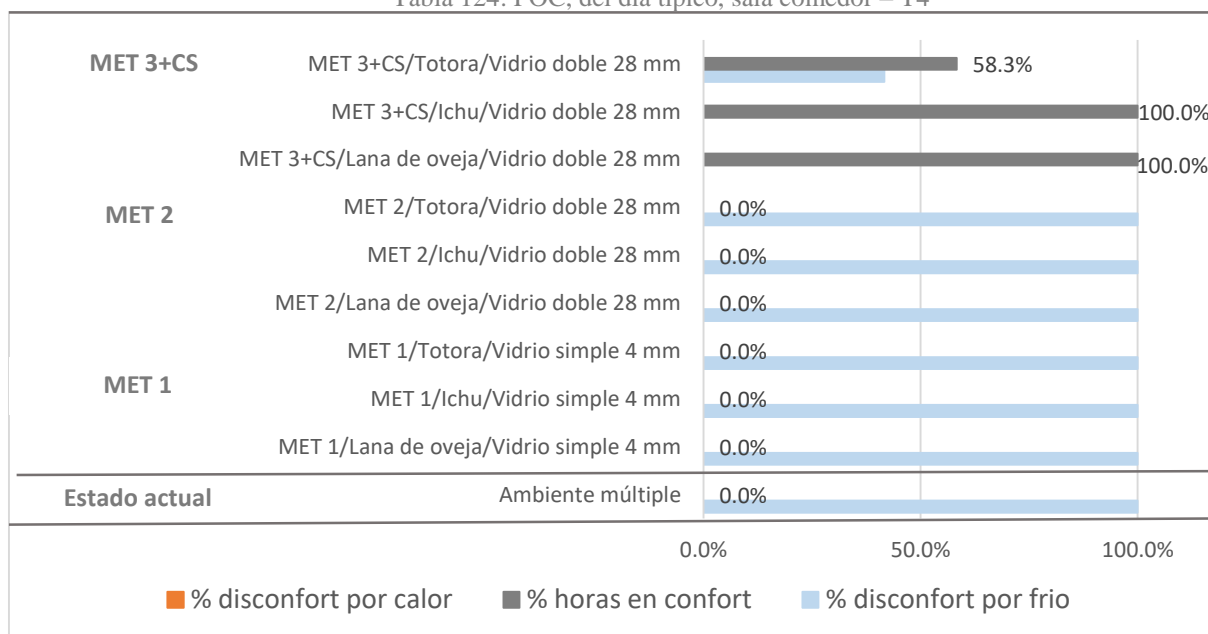
*T4/Sala comedor POC anual y día típico:* Para la sala comedor se observa que se encuentra en su estado actual con 1,5 % de confort anual, todas las combinaciones propuestas permiten alcanzar porcentajes aceptables. Respecto al día típico solo la tercera combinación permite lograr el 100% de confort para dicho día. Véase la Tabla 123 y Tabla 124.

Tabla 123: POC, anual, sala comedor – T4



Fuente: Elaboración propia

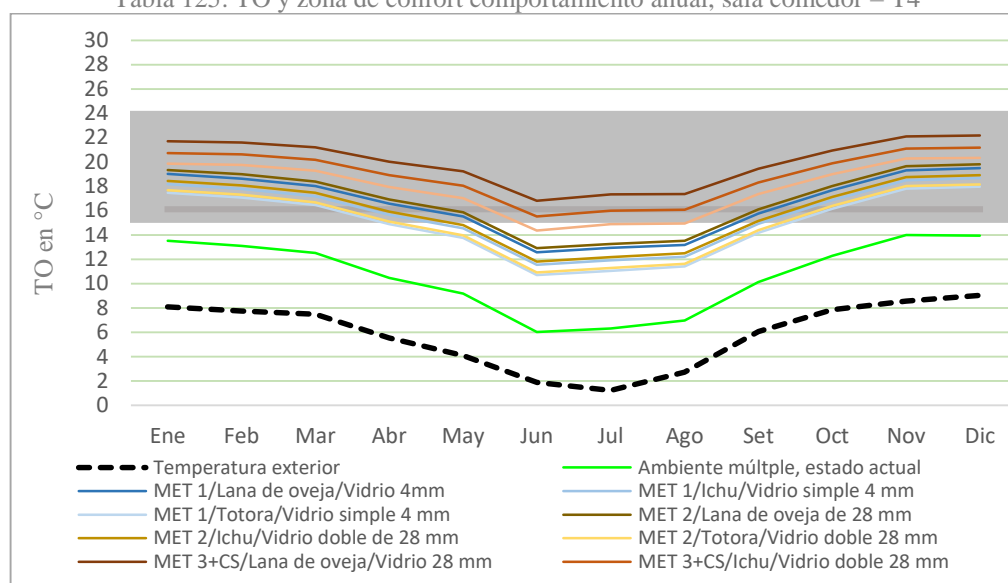
Tabla 124: POC, del día típico, sala comedor – T4



Fuente: Elaboración propia

T4/Sala comedor, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico: Se observa que para la sala comedor de esta tipología después de los cambios propuestos solo la primera combinación permite niveles de confort dentro del rango propuesto Tabla 125 y Tabla 126:

Tabla 125: TO y zona de confort comportamiento anual, sala comedor – T4



Fuente: Elaboración propia

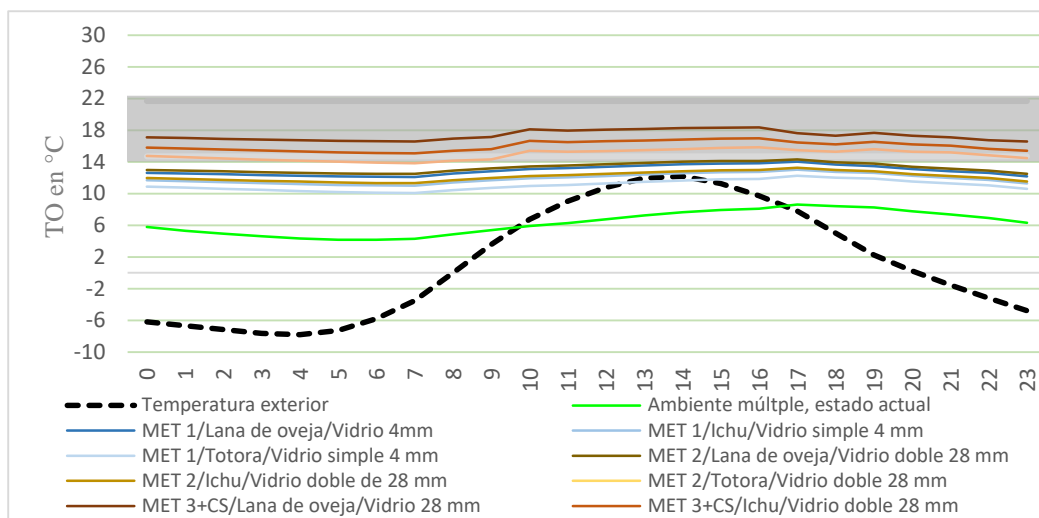
Tabla 126: TO detalle mensual y promedio anual, sala comedor – T4

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totorá	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totorá	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totorá
Ene	8,1	13,5	19,0	18,2	17,5	19,3	18,5	17,7	21,7	20,7	19,9
Feb	7,8	13,1	18,6	17,8	17,1	19,0	18,1	17,3	21,6	20,6	19,8
Mar	7,5	12,5	18,0	17,2	16,5	18,4	17,5	16,7	21,2	20,2	19,3
Abr	5,5	10,5	16,6	15,7	14,9	16,9	15,9	15,1	20,0	18,9	18,0
May	4,1	9,2	15,5	14,6	13,8	15,9	14,8	14,0	19,2	18,1	17,0
Jun	1,9	6,0	12,6	11,5	10,7	12,9	11,8	10,9	16,8	15,5	14,4
Jul	1,2	6,3	12,9	11,9	11,1	13,3	12,2	11,3	17,3	16,0	14,9
Ago	2,7	7,0	13,2	12,2	11,4	13,5	12,5	11,6	17,4	16,1	14,9
Set	6,1	10,1	15,8	14,9	14,2	16,1	15,2	14,4	19,4	18,3	17,4
Oct	7,9	12,3	17,7	16,8	16,2	18,0	17,1	16,4	20,9	19,9	19,0
Nov	8,6	14,0	19,3	18,5	17,8	19,6	18,8	18,0	22,1	21,1	20,3
Dic	9,0	14,0	19,5	18,7	18,0	19,8	18,9	18,2	22,2	21,2	20,3
MEDIA	5,9	10,7	16,6	15,7	14,9	16,9	15,9	15,1	20,0	18,9	17,9

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico Tabla 127 y Tabla 128 la combinación MET 3+CS se presenta como una buena alternativa para el confort interior de este ambiente.

Tabla 127: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, sala comedor – T4



Fuente: Elaboración propia

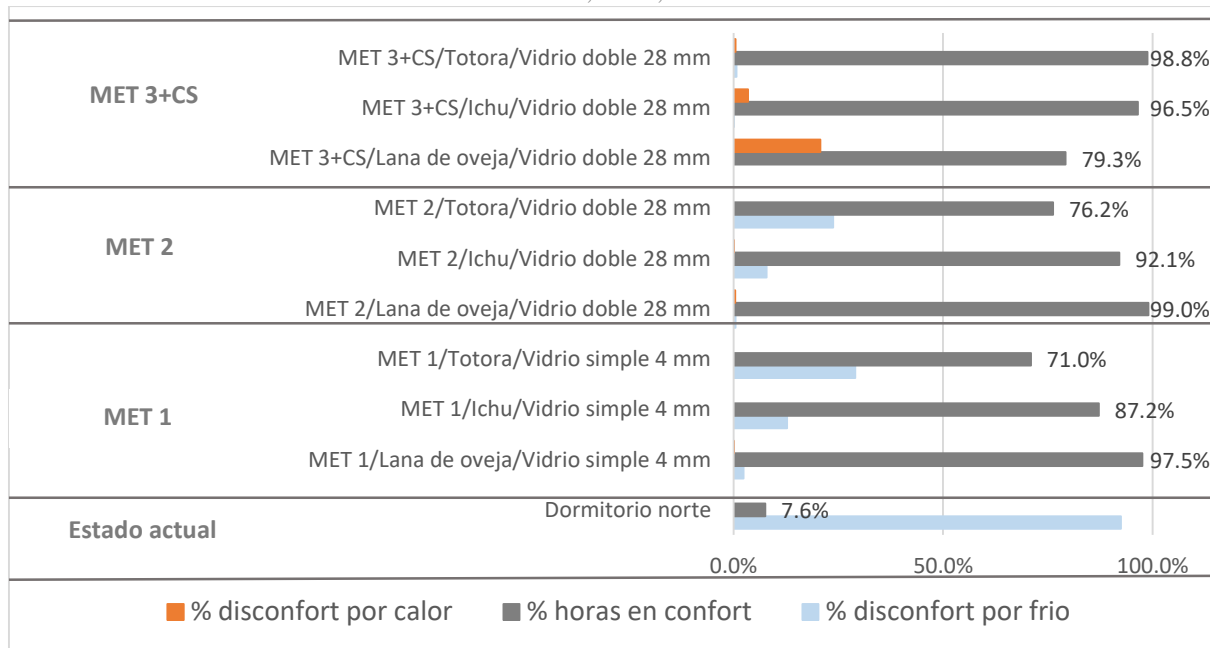
Tabla 128: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, sala comedor – T4

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
00:00:00	-6.2	5.8	12.6	11.7	10.9	13.0	12.0	11.1	17.1	15.8	14.7
01:00:00	-6.7	5.3	12.6	11.6	10.8	12.9	11.9	11.0	17.0	15.7	14.6
02:00:00	-7.1	4.9	12.5	11.5	10.6	12.8	11.7	10.9	16.9	15.6	14.4
03:00:00	-7.6	4.6	12.3	11.3	10.5	12.7	11.6	10.7	16.8	15.4	14.3
04:00:00	-7.8	4.3	12.2	11.2	10.3	12.6	11.5	10.6	16.7	15.3	14.1
05:00:00	-7.3	4.2	12.2	11.1	10.2	12.5	11.4	10.5	16.7	15.2	14.0
06:00:00	-5.8	4.2	12.1	11.0	10.1	12.5	11.3	10.4	16.6	15.1	13.9
07:00:00	-3.5	4.3	12.1	11.0	10.1	12.5	11.3	10.3	16.6	15.1	13.9
08:00:00	0.0	4.9	12.5	11.4	10.5	12.9	11.7	10.7	16.9	15.4	14.2
09:00:00	3.6	5.4	12.8	11.7	10.7	13.2	12.0	11.0	17.1	15.6	14.3
10:00:00	6.7	5.9	13.1	11.9	11.0	13.4	12.2	11.2	18.1	16.7	15.4
11:00:00	9.0	6.3	13.2	12.1	11.1	13.6	12.3	11.3	18.0	16.5	15.3
12:00:00	10.8	6.8	13.4	12.2	11.3	13.7	12.5	11.5	18.1	16.6	15.4
13:00:00	11.9	7.2	13.6	12.4	11.5	13.9	12.7	11.7	18.2	16.7	15.5
14:00:00	12.2	7.6	13.7	12.6	11.7	14.0	12.8	11.9	18.3	16.8	15.6
15:00:00	11.3	7.9	13.8	12.7	11.8	14.1	12.9	12.0	18.3	16.9	15.8
16:00:00	9.7	8.1	13.8	12.7	11.9	14.1	13.0	12.1	18.4	17.0	15.9
17:00:00	7.8	8.6	14.0	13.0	12.2	14.3	13.3	12.4	17.6	16.5	15.5
18:00:00	5.0	8.4	13.7	12.7	12.0	13.9	13.0	12.2	17.3	16.2	15.3
19:00:00	2.3	8.2	13.5	12.6	11.9	13.8	12.8	12.1	17.7	16.5	15.6
20:00:00	0.3	7.8	13.1	12.2	11.5	13.4	12.5	11.7	17.3	16.2	15.3
21:00:00	-1.5	7.4	12.8	12.0	11.3	13.1	12.2	11.5	17.1	16.1	15.2
22:00:00	-3.2	6.9	12.6	11.7	11.0	12.9	12.0	11.2	16.7	15.7	14.9
23:00:00	-4.8	6.3	12.2	11.3	10.6	12.5	11.6	10.8	16.6	15.4	14.5
MEDIA	1.2	6.3	12.9	11.9	11.1	13.3	12.2	11.3	17.3	16.0	14.9

Fuente: Elaboración propia

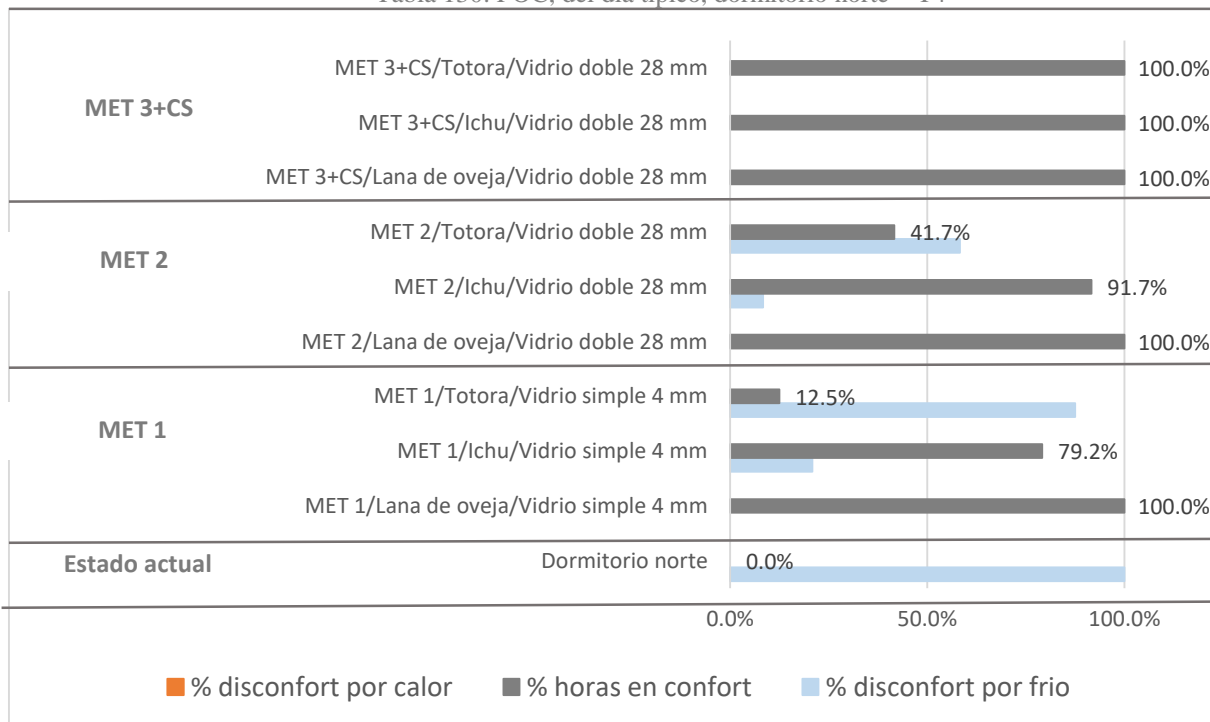
**T4/Dormitorio Norte-comportamiento anual:** En lo que respecta a las horas de confort alcanzan como máximo el 95,9% para la estrategia de calefacción solar.

Tabla 129: POC, anual, dormitorio Norte – T4



Fuente: Elaboración propia

Tabla 130: POC, del día típico, dormitorio norte – T4



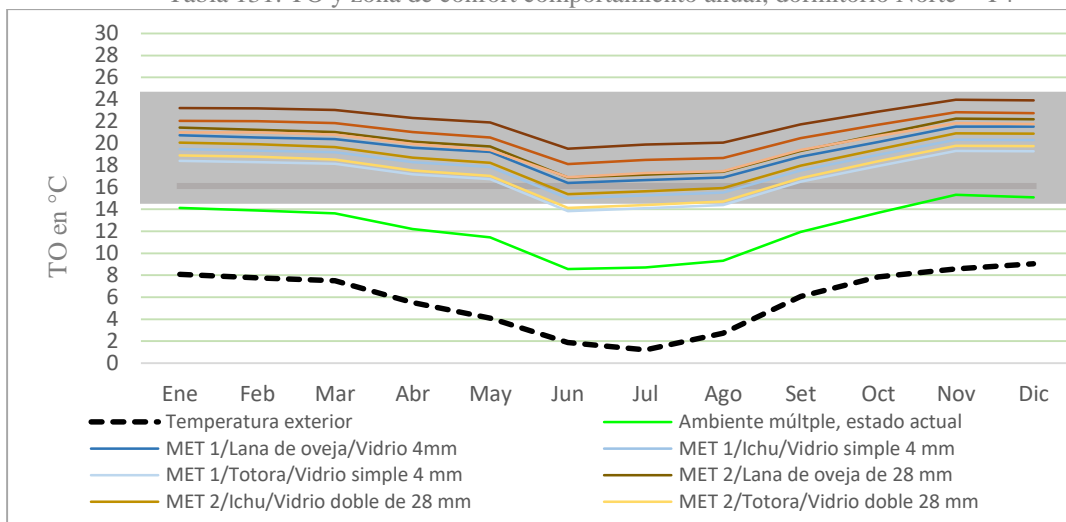
Fuente: Elaboración propia



*T4/Dormitorio Norte, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico:*

Se observa que, para el dormitorio Norte de esta tipología, todas las combinaciones poseen niveles de confort dentro del rango propuesto. Véase la Tabla 131 y Tabla 132.

Tabla 131: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Norte – T4



Fuente: Elaboración propia

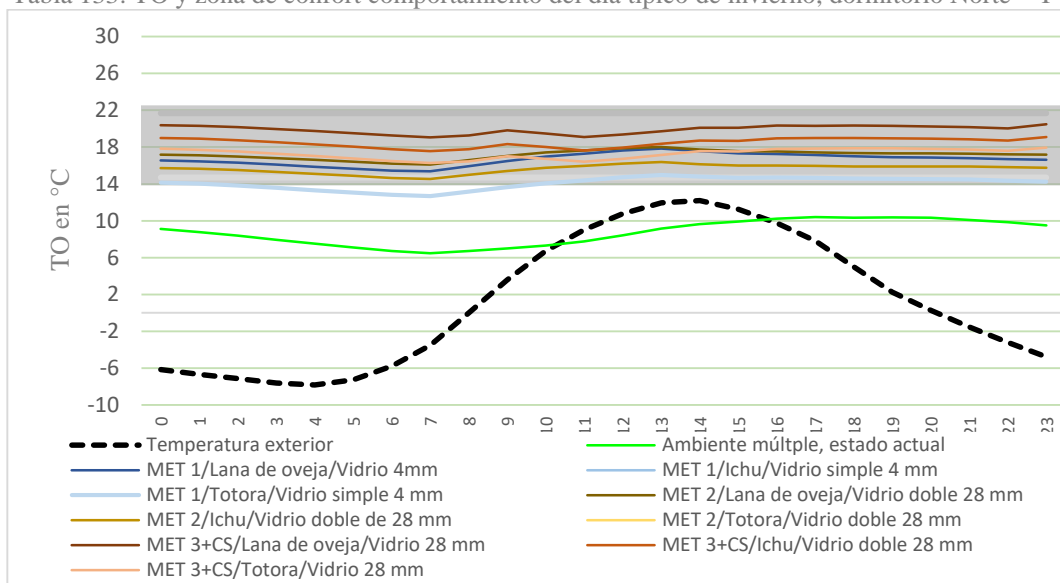
Tabla 132: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Norte– T4

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET3+CS, Lana	MET3+CS, Ichu	MET3+CS, Totora
<b>Ene</b>	8,1	14,1	20,7	19,5	18,4	21,4	20,1	18,9	23,2	22,1	21,0
<b>Feb</b>	7,8	13,9	20,5	19,3	18,3	21,2	19,9	18,8	23,2	22,0	21,0
<b>Mar</b>	7,5	13,6	20,4	19,2	18,1	21,0	19,7	18,5	23,0	21,8	20,8
<b>Abr</b>	5,5	12,2	19,6	18,3	17,2	20,2	18,7	17,5	22,3	21,0	20,0
<b>May</b>	4,1	11,4	19,2	17,9	16,7	19,7	18,2	17,0	21,9	20,5	19,4
<b>Jun</b>	1,9	8,6	16,4	15,0	13,8	16,9	15,4	14,1	19,5	18,1	16,9
<b>Jul</b>	1,2	8,7	16,7	15,3	14,1	17,2	15,6	14,4	19,9	18,5	17,3
<b>Ago</b>	2,7	9,3	16,9	15,5	14,4	17,4	15,9	14,7	20,1	18,7	17,5
<b>Set</b>	6,1	11,9	18,8	17,5	16,5	19,3	18,0	16,8	21,7	20,5	19,4
<b>Oct</b>	7,9	13,7	20,1	18,9	17,9	20,8	19,5	18,4	22,9	21,7	20,7
<b>Nov</b>	8,6	15,3	21,5	20,3	19,3	22,2	20,9	19,8	24,0	22,8	21,8
<b>Dic</b>	9,0	15,1	21,5	20,3	19,3	22,2	20,9	19,7	23,9	22,8	21,7
<b>MEDIA</b>	5,9	12,3	19,4	18,1	17,0	20,0	18,6	17,4	22,1	20,9	19,8

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico todas se encuentran dentro de los límites de confort. Véase la Tabla 133 y Tabla 134.

Tabla 133: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Norte – T4



Fuente: Elaboración propia

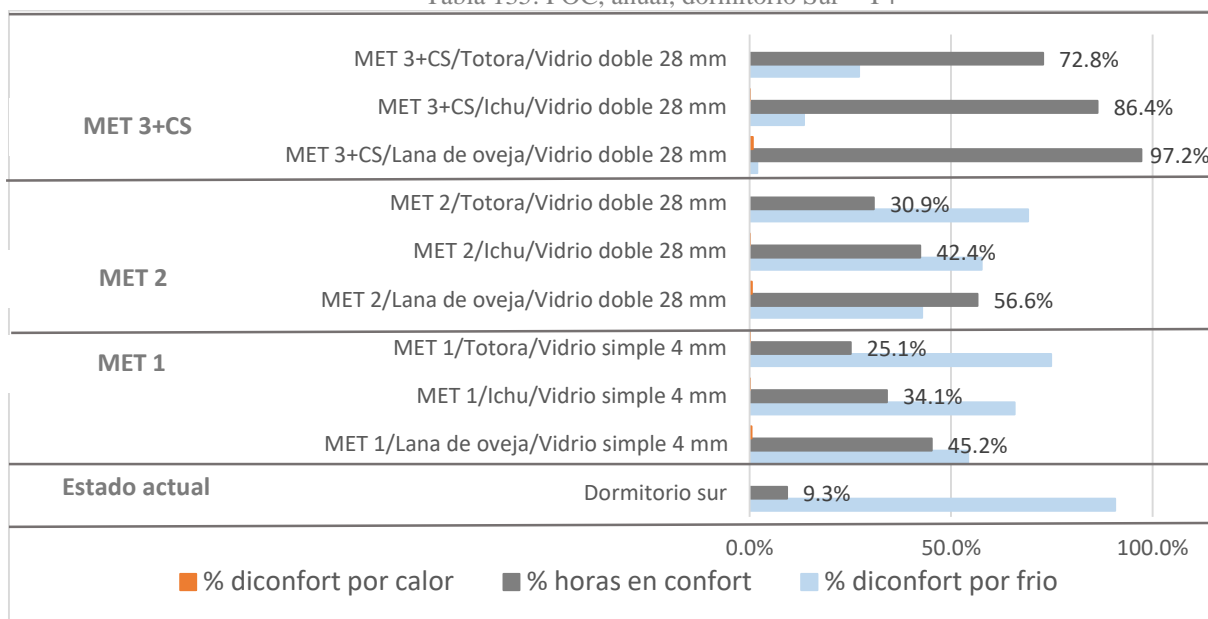
Tabla 134: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio norte – T4

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
00:00:00	-6.2	9.1	16.5	15.2	14.1	17.2	15.7	14.6	20.4	19.0	17.8
01:00:00	-6.7	8.8	16.5	15.1	14.0	17.1	15.7	14.5	20.3	18.9	17.7
02:00:00	-7.1	8.4	16.3	14.9	13.8	17.0	15.5	14.3	20.2	18.8	17.5
03:00:00	-7.6	8.0	16.1	14.7	13.6	16.8	15.3	14.1	20.0	18.5	17.3
04:00:00	-7.8	7.5	15.9	14.5	13.3	16.6	15.1	13.8	19.7	18.3	17.0
05:00:00	-7.3	7.1	15.6	14.2	13.1	16.4	14.9	13.6	19.5	18.0	16.8
06:00:00	-5.8	6.7	15.4	14.0	12.8	16.2	14.6	13.3	19.3	17.8	16.5
07:00:00	-3.5	6.5	15.4	13.9	12.7	16.1	14.5	13.2	19.1	17.6	16.3
08:00:00	0.0	6.7	15.9	14.4	13.2	16.6	15.0	13.6	19.3	17.8	16.5
09:00:00	3.6	7.0	16.5	15.0	13.7	17.1	15.4	14.0	19.8	18.3	17.0
10:00:00	6.7	7.3	17.0	15.4	14.1	17.4	15.8	14.3	19.5	18.0	16.7
11:00:00	9.0	7.8	17.3	15.7	14.4	17.6	15.9	14.5	19.1	17.7	16.4
12:00:00	10.8	8.4	17.6	16.1	14.7	17.9	16.2	14.8	19.4	17.9	16.7
13:00:00	11.9	9.2	17.8	16.3	15.0	18.0	16.4	15.0	19.7	18.4	17.1
14:00:00	12.2	9.6	17.5	16.0	14.8	17.7	16.1	14.8	20.1	18.7	17.6
15:00:00	11.3	9.9	17.3	15.9	14.7	17.5	16.0	14.7	20.1	18.7	17.5
16:00:00	9.7	10.2	17.3	15.8	14.7	17.5	16.0	14.8	20.3	18.9	17.8
17:00:00	7.8	10.4	17.1	15.8	14.7	17.4	16.0	14.8	20.3	19.0	17.8
18:00:00	5.0	10.4	17.0	15.7	14.6	17.3	15.9	14.8	20.3	19.0	17.9
19:00:00	2.3	10.4	16.9	15.6	14.5	17.3	15.9	14.8	20.3	19.0	17.9
20:00:00	0.3	10.3	16.9	15.6	14.5	17.3	15.9	14.8	20.2	18.9	17.8
21:00:00	-1.5	10.1	16.8	15.5	14.5	17.3	15.9	14.8	20.2	18.9	17.8
22:00:00	-3.2	9.9	16.7	15.4	14.4	17.2	15.8	14.7	20.0	18.7	17.6
23:00:00	-4.8	9.5	16.6	15.3	14.2	17.2	15.8	14.6	20.5	19.1	17.9
MEDIA	1.2	8.7	16.7	15.3	14.1	17.2	15.6	14.4	19.9	18.5	17.3

Fuente: Elaboración propia

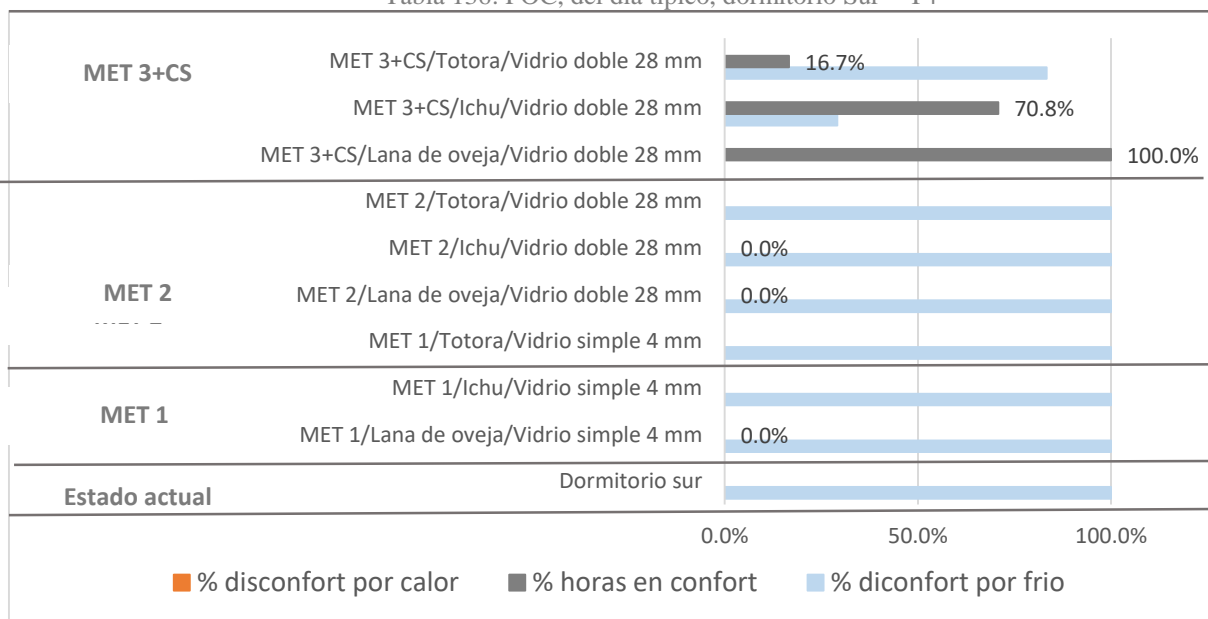
*T4/Dormitorio Sur-comportamiento anual:* Referente a las horas de confort del dormitorio Sur, alcanzan como máximo el 97,2% para la estrategia MET 3+CS, se puede observar también que para el día típico solo esta estrategia permite un 100% para el material con lana de oveja Tabla 135 y Tabla 136.

Tabla 135: POC, anual, dormitorio Sur – T4



Fuente: Elaboración propia

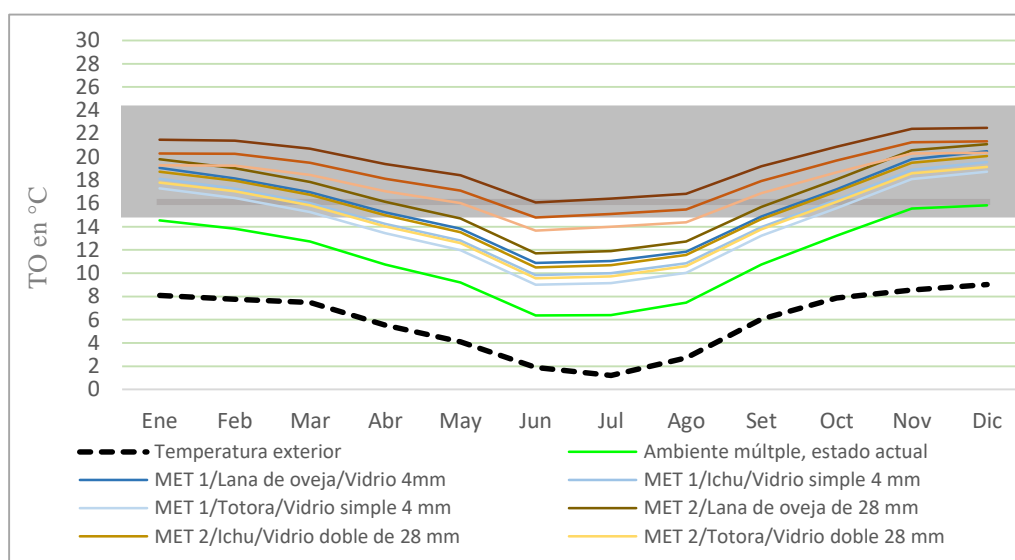
Tabla 136: POC, del día típico, dormitorio Sur – T4



Fuente: Elaboración propia

*T4/Dormitorio Sur, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico:* Se observa que para el dormitorio Sur de esta tipología Tabla 137 y Tabla 138, después de los cambios propuestos solo la tercera combinación permite niveles de confort dentro del rango propuesto, las demás solo en los meses más cálidos

Tabla 137: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Sur – T4



Fuente: Elaboración propia

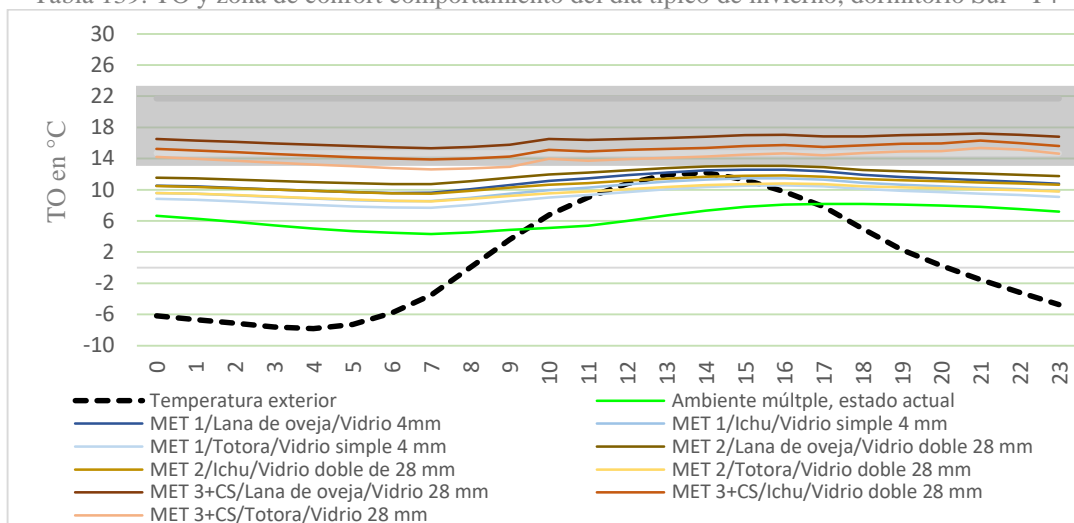
Tabla 138: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Sur– T4

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET3+CS, Lana	MET3+CS, Ichu	MET3+CS, Totora
<b>Ene</b>	8,1	14,5	19,1	18,1	17,3	19,8	18,7	17,8	21,5	20,3	19,3
<b>Feb</b>	7,8	13,8	18,1	17,2	16,5	19,0	18,0	17,1	21,4	20,2	19,2
<b>Mar</b>	7,5	12,7	17,0	16,0	15,3	17,8	16,7	15,8	20,7	19,5	18,5
<b>Abr</b>	5,5	10,7	15,2	14,2	13,4	16,1	15,0	14,0	19,4	18,1	17,0
<b>May</b>	4,1	9,2	13,8	12,8	12,0	14,7	13,5	12,6	18,4	17,1	16,0
<b>Jun</b>	1,9	6,4	10,9	9,8	9,0	11,7	10,5	9,5	16,1	14,8	13,7
<b>Jul</b>	1,2	6,4	11,1	10,0	9,2	11,9	10,7	9,7	16,4	15,1	14,0
<b>Ago</b>	2,7	7,5	11,9	10,8	10,0	12,7	11,6	10,6	16,8	15,5	14,4
<b>Set</b>	6,1	10,7	14,9	14,0	13,2	15,7	14,6	13,8	19,2	17,9	16,9
<b>Oct</b>	7,9	13,2	17,2	16,3	15,6	18,1	17,0	16,1	20,9	19,7	18,7
<b>Nov</b>	8,6	15,6	19,8	18,9	18,1	20,6	19,5	18,6	22,4	21,3	20,3
<b>Dic</b>	9,0	15,8	20,5	19,6	18,7	21,1	20,1	19,1	22,5	21,3	20,3
<b>MEDIA</b>	5,9	11,4	15,8	14,8	14,0	16,6	15,5	14,6	19,6	18,4	17,4

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico solo MET 3+CS se encuentra en los límites Tabla 139 y Tabla 140:

Tabla 139: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur- T4



Fuente: Elaboración propia

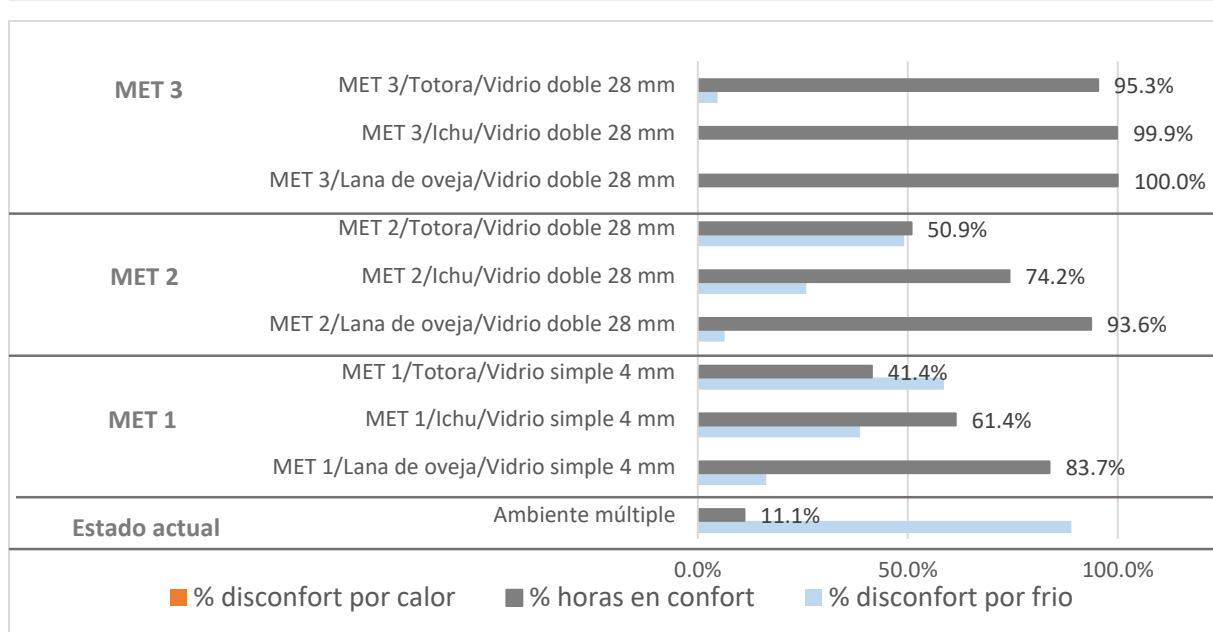
Tabla 140: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur – T4

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
00:00:00	-6.2	6.6	10.5	9.6	8.8	11.6	10.5	9.6	16.5	15.3	14.2
01:00:00	-6.7	6.3	10.4	9.5	8.7	11.5	10.4	9.5	16.3	15.0	14.0
02:00:00	-7.1	5.9	10.2	9.3	8.5	11.3	10.2	9.3	16.1	14.8	13.7
03:00:00	-7.6	5.4	10.0	9.1	8.3	11.1	10.0	9.1	15.9	14.6	13.5
04:00:00	-7.8	5.0	9.8	8.9	8.1	11.0	9.8	8.9	15.8	14.4	13.2
05:00:00	-7.3	4.7	9.7	8.7	7.9	10.8	9.7	8.7	15.6	14.2	13.0
06:00:00	-5.8	4.5	9.6	8.6	7.7	10.7	9.5	8.6	15.4	14.0	12.8
07:00:00	-3.5	4.3	9.6	8.6	7.7	10.7	9.5	8.5	15.3	13.9	12.6
08:00:00	0.0	4.5	10.1	9.0	8.1	11.1	9.9	8.8	15.5	14.0	12.7
09:00:00	3.6	4.8	10.6	9.5	8.6	11.5	10.3	9.2	15.8	14.2	12.9
10:00:00	6.7	5.1	11.1	10.0	9.0	11.9	10.6	9.5	16.5	15.1	14.0
11:00:00	9.0	5.4	11.5	10.3	9.3	12.2	10.9	9.8	16.4	14.9	13.7
12:00:00	10.8	6.0	11.9	10.7	9.7	12.5	11.2	10.1	16.5	15.1	13.9
13:00:00	11.9	6.7	12.2	11.0	10.1	12.8	11.4	10.4	16.7	15.2	14.1
14:00:00	12.2	7.3	12.5	11.3	10.4	13.0	11.7	10.6	16.8	15.4	14.3
15:00:00	11.3	7.8	12.6	11.4	10.5	13.1	11.8	10.7	17.0	15.6	14.5
16:00:00	9.7	8.1	12.6	11.5	10.6	13.1	11.8	10.8	17.1	15.8	14.7
17:00:00	7.8	8.2	12.4	11.3	10.4	12.9	11.7	10.7	16.8	15.5	14.4
18:00:00	5.0	8.2	11.9	10.9	10.1	12.6	11.4	10.5	16.8	15.7	14.7
19:00:00	2.3	8.1	11.6	10.6	9.9	12.3	11.2	10.3	17.0	15.9	14.9
20:00:00	0.3	8.0	11.4	10.4	9.7	12.2	11.1	10.2	17.1	15.9	15.0
21:00:00	-1.5	7.8	11.2	10.2	9.5	12.1	10.9	10.1	17.2	16.3	15.4
22:00:00	-3.2	7.5	11.0	10.1	9.3	11.9	10.8	9.9	17.0	16.0	15.2
23:00:00	-4.8	7.2	10.8	9.8	9.1	11.7	10.6	9.8	16.8	15.6	14.6
MEDIA	1.2	6.4	11.1	10.0	9.2	11.9	10.7	9.7	16.4	15.1	14.0

Fuente: Elaboración propia

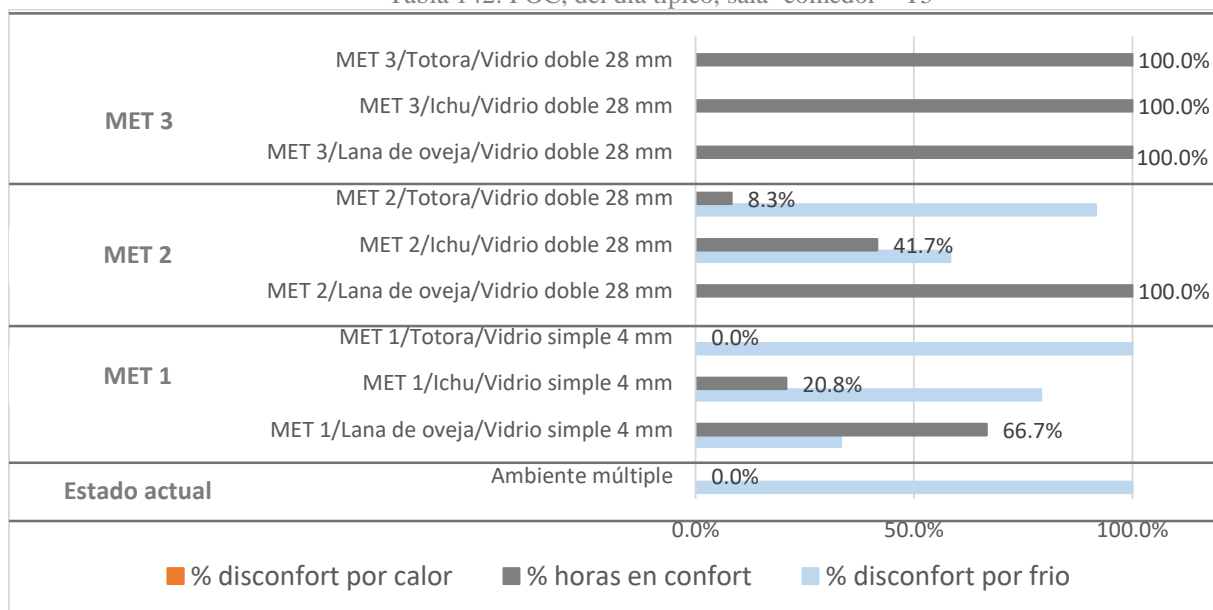
*T5/Sala comedor-comportamiento anual:* En lo que respecta a las horas de confort de la sala-comedor, alcanzan como máximo el 100% para la estrategia MET 3+CS, se puede observar también que para el día típico solo esta estrategia permite un 100% para el material con lana de oveja. Véase la Tabla 141 y Tabla 142.

Tabla 141: POC, anual, sala comedor – T5



Fuente: Elaboración propia

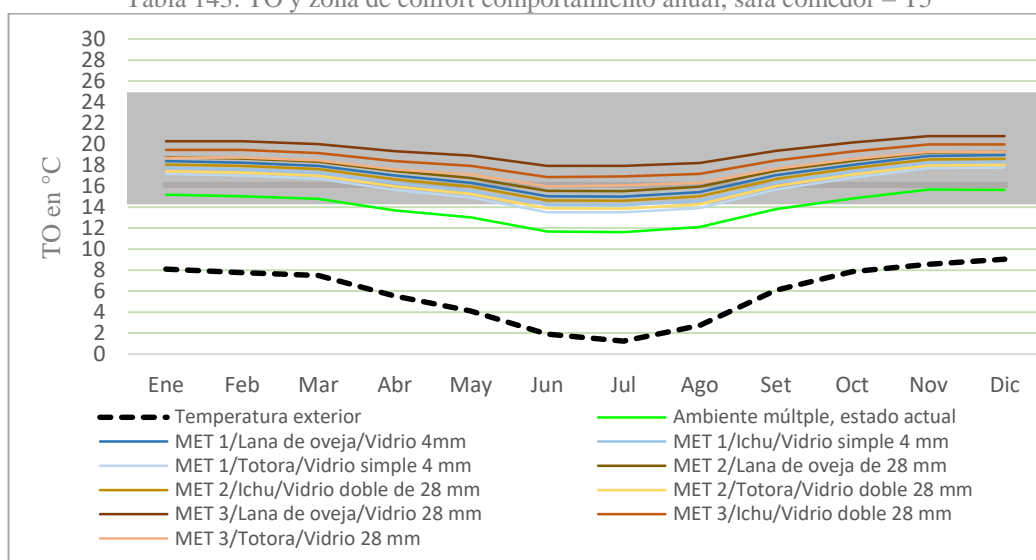
Tabla 142: POC, del día típico, sala- comedor – T5



Fuente: Elaboración propia

T5/Sala comedor, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico: Se observa que para la sala comedor de esta tipología después de los cambios propuestos las tres combinaciones se encuentran dentro de los niveles de confort dentro del rango propuesto Tabla 143 y Tabla 144.

Tabla 143: TO y zona de confort comportamiento anual, sala comedor – T5



Fuente: Elaboración propia

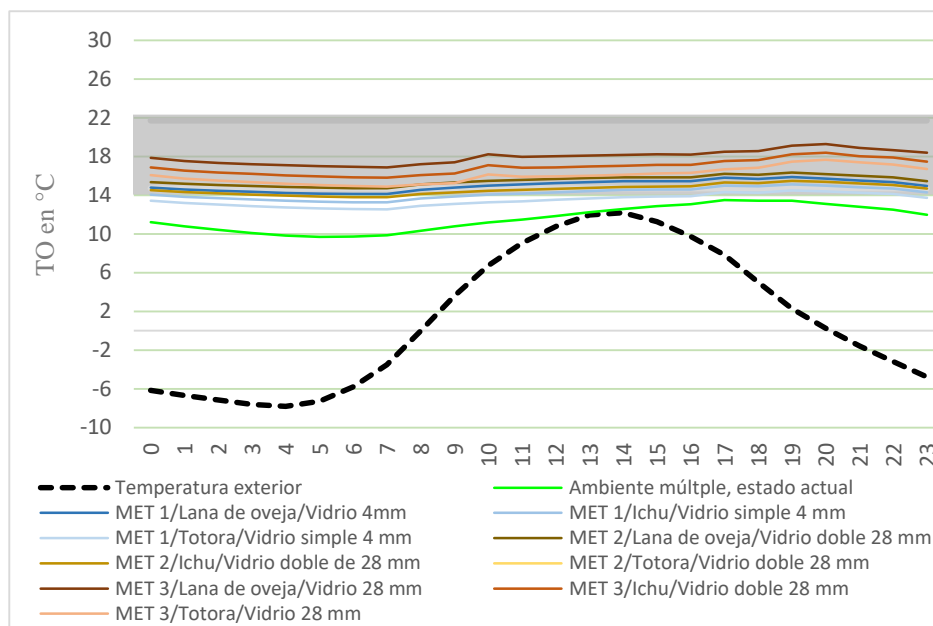
Tabla 144: TO detalle mensual y promedio anual, sala comedor– T5

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totorá	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totorá	MET 3, Lana	MET 3, Ichu	MET 3, Totorá
Ene	8,1	15,2	18,4	17,7	17,2	18,8	18,1	17,4	20,3	19,4	18,7
Feb	7,8	15,0	18,2	17,6	17,0	18,6	17,9	17,3	20,3	19,5	18,7
Mar	7,5	14,8	17,9	17,3	16,7	18,3	17,6	17,0	20,0	19,2	18,4
Abr	5,5	13,7	17,0	16,3	15,6	17,4	16,6	16,0	19,3	18,4	17,6
May	4,1	13,0	16,3	15,6	14,9	16,8	15,9	15,2	18,9	17,9	17,1
Jun	1,9	11,7	15,0	14,2	13,5	15,5	14,6	13,9	17,9	16,9	16,0
Jul	1,2	11,6	15,0	14,2	13,5	15,5	14,6	13,8	17,9	16,9	16,1
Ago	2,7	12,1	15,4	14,6	13,9	15,9	15,0	14,3	18,2	17,2	16,3
Set	6,1	13,8	17,0	16,3	15,7	17,5	16,7	16,0	19,4	18,4	17,6
Oct	7,9	14,8	18,0	17,4	16,8	18,4	17,7	17,1	20,1	19,3	18,6
Nov	8,6	15,7	18,9	18,2	17,7	19,2	18,5	18,0	20,8	20,0	19,3
Dic	9,0	15,7	19,0	18,3	17,8	19,3	18,6	18,0	20,8	20,0	19,3
MEDIA	5,9	13,9	17,2	16,5	15,9	17,6	16,8	16,2	19,5	18,6	17,8

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico todas se encuentran dentro de los límites de confort. Obsérvese la Tabla 145 y Tabla 146 .

Tabla 145: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, sala comedor– T5



Fuente: Elaboración propia

Tabla 146: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, sala comedor – T5

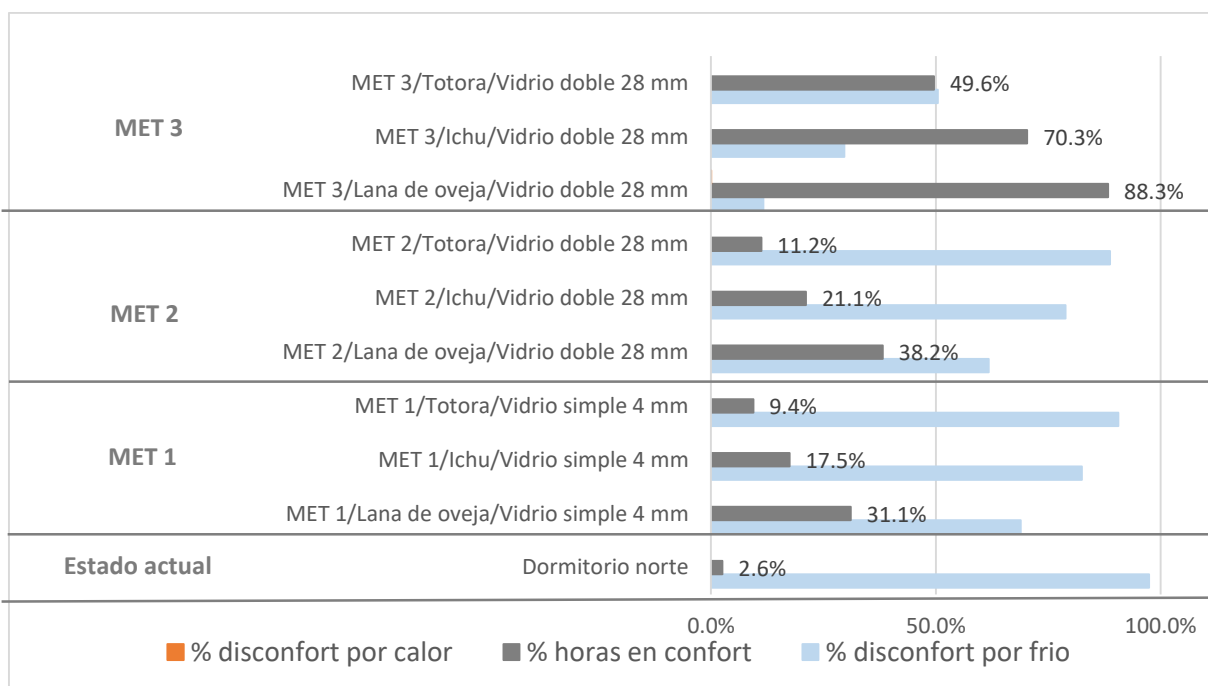
	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
00:00:00	-6.2	11.2	14.8	14.0	13.4	15.4	14.5	13.8	17.8	16.9	16.1
01:00:00	-6.7	10.8	14.6	13.8	13.2	15.2	14.3	13.6	17.5	16.5	15.7
02:00:00	-7.1	10.4	14.5	13.7	13.0	15.1	14.2	13.5	17.3	16.3	15.5
03:00:00	-7.6	10.1	14.3	13.5	12.9	14.9	14.1	13.3	17.2	16.2	15.3
04:00:00	-7.8	9.8	14.2	13.4	12.7	14.8	14.0	13.2	17.1	16.1	15.2
05:00:00	-7.3	9.7	14.2	13.3	12.6	14.8	13.9	13.1	17.0	15.9	15.1
06:00:00	-5.8	9.7	14.1	13.3	12.6	14.7	13.8	13.0	16.9	15.9	14.9
07:00:00	-3.5	9.9	14.1	13.3	12.5	14.7	13.8	13.0	16.9	15.8	14.9
08:00:00	0.0	10.3	14.5	13.7	12.9	15.1	14.1	13.3	17.2	16.1	15.1
09:00:00	3.6	10.8	14.8	13.9	13.1	15.3	14.3	13.5	17.4	16.2	15.3
10:00:00	6.7	11.2	15.0	14.1	13.3	15.5	14.5	13.6	18.2	17.1	16.1
11:00:00	9.0	11.5	15.1	14.2	13.4	15.6	14.5	13.7	18.0	16.8	15.9
12:00:00	10.8	11.8	15.2	14.3	13.5	15.7	14.6	13.8	18.0	16.9	15.9
13:00:00	11.9	12.2	15.4	14.4	13.7	15.8	14.8	13.9	18.1	17.0	16.0
14:00:00	12.2	12.6	15.4	14.5	13.8	15.8	14.9	14.0	18.2	17.0	16.1
15:00:00	11.3	12.9	15.5	14.6	13.9	15.9	14.9	14.1	18.2	17.1	16.2
16:00:00	9.7	13.1	15.4	14.6	13.9	15.8	14.9	14.1	18.2	17.1	16.3
17:00:00	7.8	13.5	15.8	15.0	14.3	16.2	15.3	14.6	18.5	17.5	16.7
18:00:00	5.0	13.4	15.7	14.9	14.3	16.1	15.3	14.5	18.5	17.6	16.8
19:00:00	2.3	13.4	15.9	15.1	14.5	16.3	15.5	14.8	19.1	18.2	17.4
20:00:00	0.3	13.1	15.7	15.0	14.4	16.2	15.4	14.7	19.3	18.4	17.7
21:00:00	-1.5	12.8	15.5	14.8	14.2	16.0	15.2	14.6	18.9	18.0	17.4
22:00:00	-3.2	12.5	15.4	14.7	14.1	15.9	15.1	14.4	18.7	17.9	17.2
23:00:00	-4.8	12.0	15.0	14.3	13.7	15.5	14.7	14.0	18.4	17.5	16.7
MEDIA	1.2	11.6	15.0	14.2	13.5	15.5	14.6	13.8	17.9	16.9	16.1

Fuente: Elaboración propia



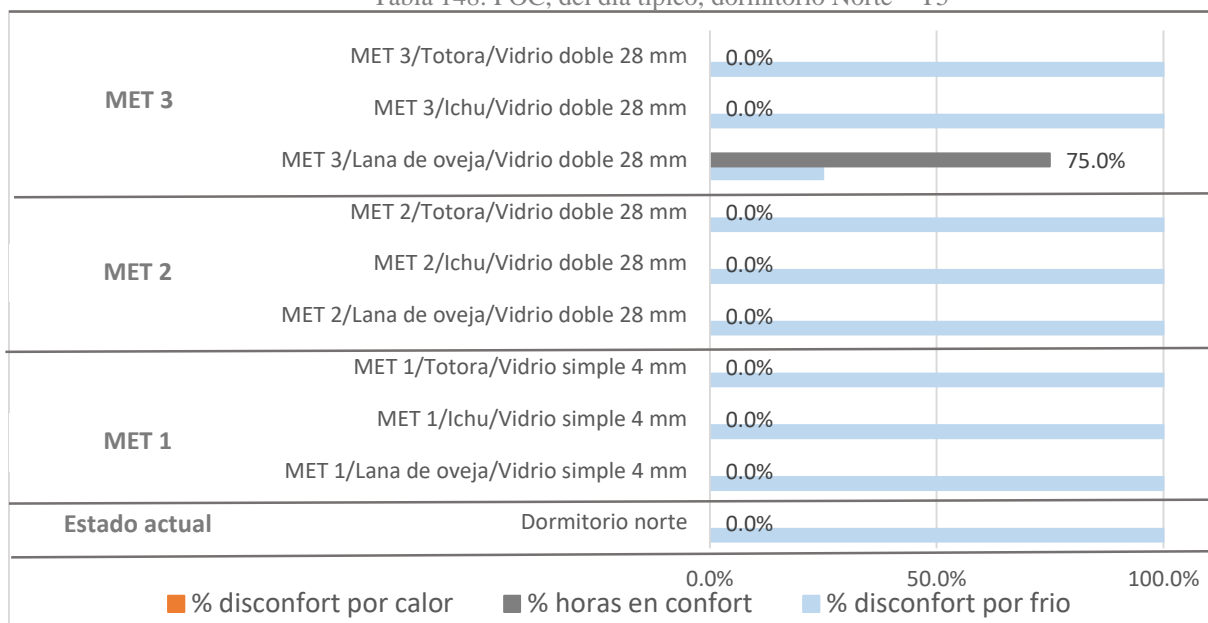
**T5/Dormitorio Norte-comportamiento anual:** En lo que respecta a las horas de confort alcanzan como máximo el 88,3% para la estrategia con calefacción solar. Véase la Tabla 147 y Tabla 148.

Tabla 147: POC, anual, dormitorio Norte – T5



Fuente: Elaboración propia

Tabla 148: POC, del día típico, dormitorio Norte – T5

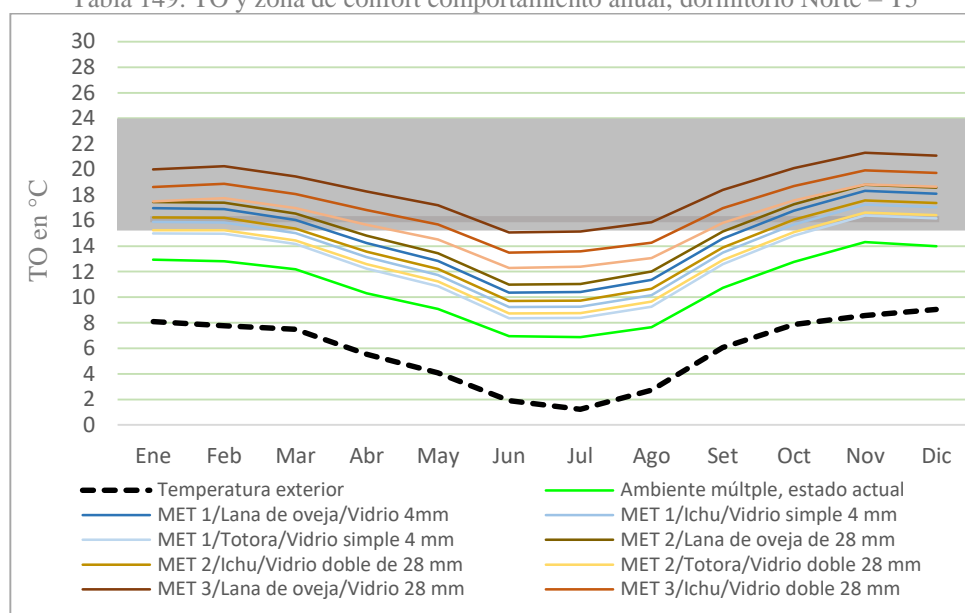


Fuente: Elaboración propia

*T5/Dormitorio Norte, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico:*

Se observa que, para el dormitorio Norte de esta tipología, después de los cambios propuestos solo la tercera combinación permite niveles de confort dentro del rango propuesto. Véase Tabla 149 y Tabla 150.

Tabla 149: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Norte – T5



Fuente: Elaboración propia

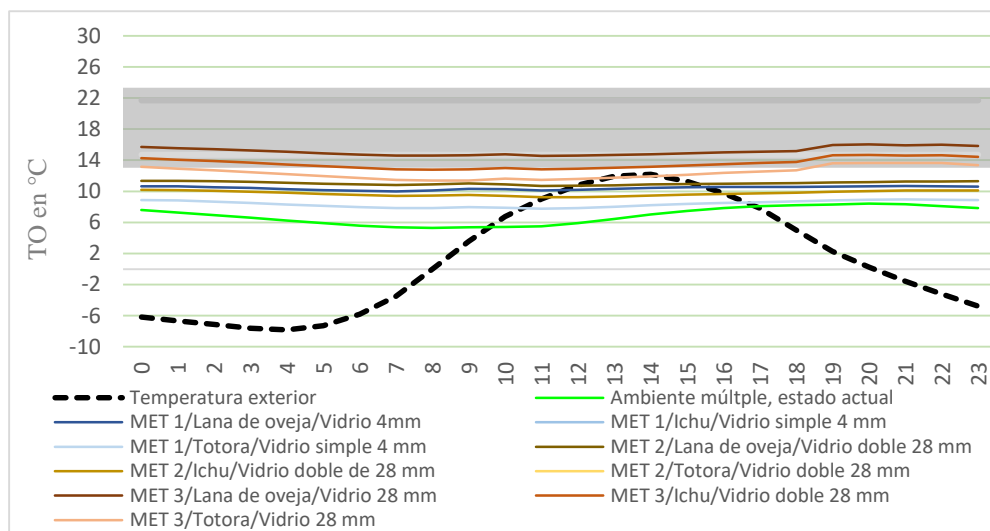
Tabla 150: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Norte– T5

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3, Lana	MET 3, Ichu	MET 3, Totora
Ene	8,1	12,9	17,0	15,9	15,0	17,4	16,2	15,3	20,0	18,6	17,5
Feb	7,8	12,8	16,9	15,8	15,0	17,4	16,2	15,3	20,3	18,9	17,8
Mar	7,5	12,2	16,0	15,0	14,2	16,5	15,4	14,4	19,5	18,1	17,0
Abr	5,5	10,3	14,2	13,1	12,2	14,8	13,6	12,6	18,3	16,8	15,7
May	4,1	9,1	12,8	11,7	10,9	13,4	12,2	11,2	17,2	15,7	14,5
Jun	1,9	7,0	10,4	9,2	8,4	11,0	9,7	8,7	15,1	13,5	12,3
Jul	1,2	6,9	10,4	9,3	8,4	11,0	9,7	8,7	15,1	13,6	12,4
Ago	2,7	7,6	11,3	10,2	9,3	12,0	10,7	9,6	15,9	14,3	13,1
Set	6,1	10,7	14,6	13,5	12,6	15,1	13,9	12,9	18,4	17,0	15,8
Oct	7,9	12,8	16,8	15,7	14,8	17,3	16,1	15,1	20,1	18,7	17,6
Nov	8,6	14,3	18,3	17,3	16,4	18,8	17,6	16,6	21,3	19,9	18,8
Dic	9,0	14,0	18,1	17,0	16,2	18,6	17,4	16,4	21,1	19,7	18,6
MEDIA	5,9	10,9	14,7	13,6	12,8	15,3	14,0	13,1	18,5	17,1	15,9

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico solo la MET 3 +CS ingresa a los límites de confort. Véase la Tabla 151 y Tabla 152:

Tabla 151: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Norte– T5



Fuente: Elaboración propia

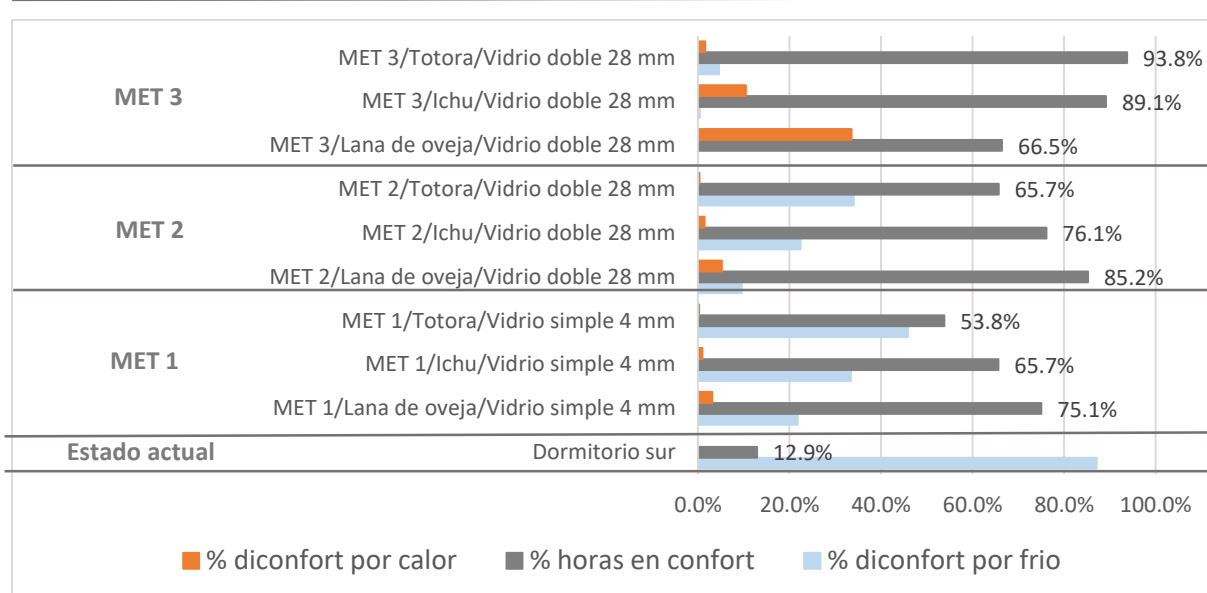
Tabla 152: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Norte – T5

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3+CS, Lana	MET 3+CS, Ichu	MET 3+CS, Totora
00:00:00	-6.2	7.6	10.6	9.6	8.9	11.3	10.2	9.3	15.7	14.3	13.2
01:00:00	-6.7	7.3	10.6	9.6	8.8	11.3	10.2	9.3	15.6	14.1	12.9
02:00:00	-7.1	6.9	10.5	9.5	8.7	11.3	10.1	9.2	15.4	13.9	12.7
03:00:00	-7.6	6.6	10.4	9.3	8.5	11.2	10.0	9.0	15.2	13.7	12.4
04:00:00	-7.8	6.3	10.3	9.2	8.3	11.1	9.8	8.8	15.1	13.5	12.2
05:00:00	-7.3	5.9	10.2	9.0	8.1	11.0	9.7	8.7	14.9	13.2	11.9
06:00:00	-5.8	5.6	10.1	8.9	8.0	10.9	9.5	8.5	14.7	13.0	11.7
07:00:00	-3.5	5.4	10.0	8.8	7.8	10.8	9.4	8.3	14.6	12.8	11.5
08:00:00	0.0	5.3	10.1	8.9	7.9	10.9	9.5	8.3	14.6	12.8	11.4
09:00:00	3.6	5.4	10.3	9.0	8.0	11.0	9.5	8.4	14.6	12.8	11.4
10:00:00	6.7	5.4	10.3	8.9	7.9	10.9	9.4	8.3	14.7	13.0	11.6
11:00:00	9.0	5.5	10.1	8.8	7.8	10.7	9.2	8.1	14.5	12.8	11.5
12:00:00	10.8	5.9	10.2	8.9	7.9	10.7	9.3	8.1	14.6	12.9	11.6
13:00:00	11.9	6.4	10.3	9.0	8.0	10.8	9.3	8.2	14.7	13.0	11.7
14:00:00	12.2	7.0	10.4	9.2	8.2	10.9	9.5	8.4	14.8	13.2	11.9
15:00:00	11.3	7.5	10.5	9.3	8.4	10.9	9.6	8.6	14.9	13.3	12.1
16:00:00	9.7	7.8	10.5	9.4	8.5	11.0	9.7	8.7	15.0	13.5	12.4
17:00:00	7.8	8.1	10.5	9.4	8.6	11.0	9.7	8.8	15.1	13.7	12.5
18:00:00	5.0	8.2	10.6	9.5	8.7	11.1	9.8	8.9	15.2	13.8	12.7
19:00:00	2.3	8.3	10.6	9.6	8.8	11.1	9.9	9.1	16.0	14.6	13.6
20:00:00	0.3	8.4	10.6	9.6	8.9	11.2	10.0	9.2	16.0	14.7	13.6
21:00:00	-1.5	8.3	10.7	9.7	9.0	11.3	10.1	9.3	15.9	14.6	13.7
22:00:00	-3.2	8.1	10.7	9.7	8.9	11.3	10.1	9.3	16.0	14.6	13.7
23:00:00	-4.8	7.8	10.6	9.6	8.9	11.3	10.1	9.3	15.8	14.4	13.4
MEDIA	1.2	6.9	10.4	9.3	8.4	11.0	9.7	8.8	15.1	13.6	12.4

Fuente: Elaboración propia

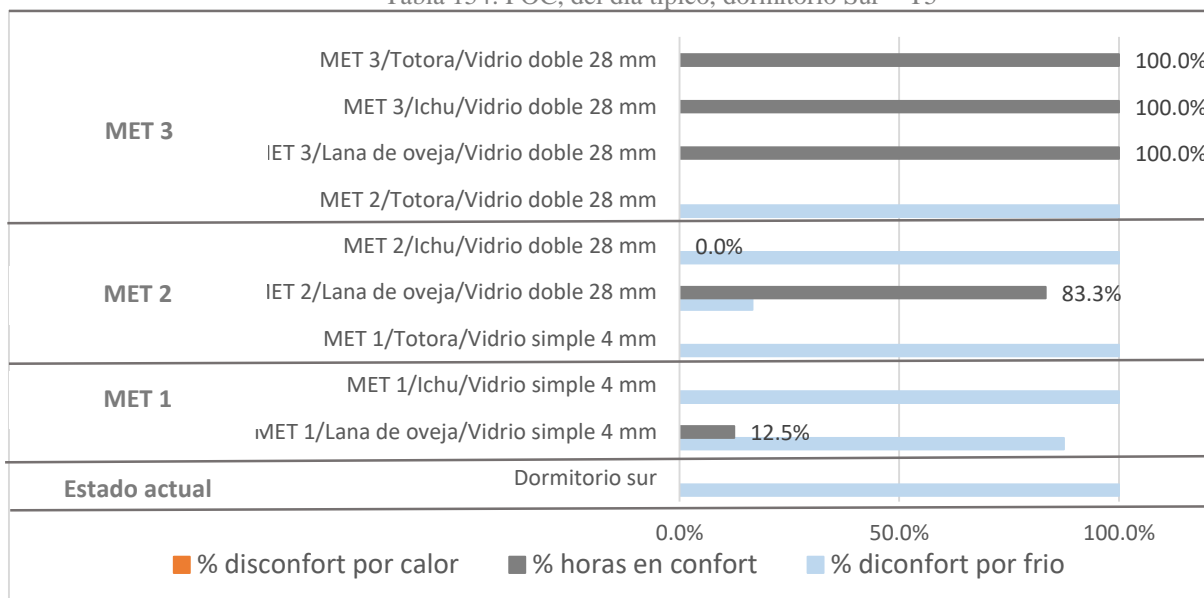
*T5/Dormitorio Sur-comportamiento anual:* En lo que respecta a las horas de confort alcanzan como máximo el 93,8% para la estrategia de MET3+CS y 100% para el día típico  
 Tabla 153 y Tabla 154:

Tabla 153: POC, anual, dormitorio Sur – T5



Fuente: Elaboración propia

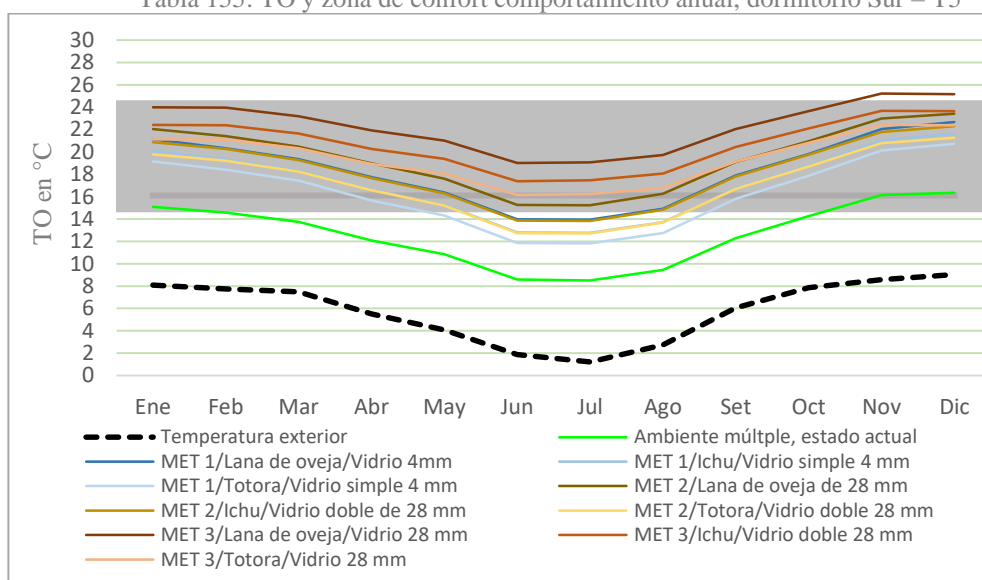
Tabla 154: POC, del día típico, dormitorio Sur – T5



Fuente: Elaboración propia

*T5/Dormitorio Sur, temperaturas operativas comportamiento anual y el día típico:* Se observa que para el dormitorio Sur de esta tipología después de los cambios propuestos las tres combinaciones permiten niveles de confort dentro del rango propuesto. Véase la Tabla 155 y Tabla 156:

Tabla 155: TO y zona de confort comportamiento anual, dormitorio Sur – T5



Fuente: Elaboración propia

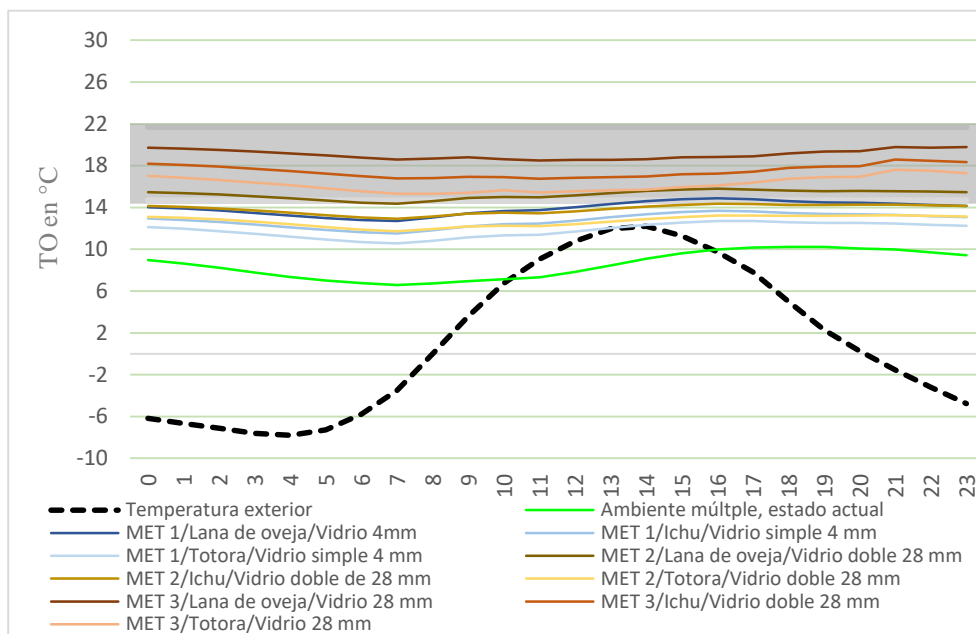
Tabla 156: TO detalle mensual y promedio anual, dormitorio Sur– T5

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totorá	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totorá	MET 3, Lana	MET 3, Ichu	MET 3, Totorá
<b>Ene</b>	8,1	15,1	21,1	20,1	19,2	22,0	20,9	19,8	24,0	22,4	21,1
<b>Feb</b>	7,8	14,6	20,3	19,3	18,4	21,4	20,3	19,2	24,0	22,4	21,1
<b>Mar</b>	7,5	13,7	19,4	18,3	17,4	20,5	19,3	18,2	23,2	21,6	20,3
<b>Abr</b>	5,5	12,1	17,8	16,6	15,7	19,0	17,7	16,6	21,9	20,3	18,9
<b>May</b>	4,1	10,9	16,4	15,3	14,3	17,6	16,3	15,2	21,0	19,4	18,1
<b>Jun</b>	1,9	8,6	14,0	12,8	11,9	15,3	13,9	12,7	19,0	17,4	16,1
<b>Jul</b>	1,2	8,5	13,9	12,8	11,8	15,2	13,8	12,7	19,1	17,5	16,2
<b>Ago</b>	2,7	9,5	14,9	13,7	12,7	16,3	14,8	13,7	19,7	18,1	16,8
<b>Set</b>	6,1	12,3	17,9	16,8	15,8	19,1	17,8	16,7	22,0	20,4	19,1
<b>Oct</b>	7,9	14,3	19,8	18,8	17,9	21,0	19,8	18,7	23,7	22,1	20,8
<b>Nov</b>	8,6	16,2	22,0	21,0	20,1	23,0	21,8	20,8	25,2	23,7	22,4
<b>Dic</b>	9,0	16,3	22,7	21,7	20,7	23,4	22,3	21,3	25,2	23,7	22,4
<b>MEDIA</b>	5,9	12,7	18,4	17,3	16,3	19,5	18,2	17,1	22,3	20,7	19,5

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta al día típico todas se encuentran dentro de los límites de confort exceptuando la combinación con totora del MET 1. Véase la Tabla 157 y Tabla 158.

Tabla 157: TO y zona de confort comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur– T5



Fuente: Elaboración propia

Tabla 158: TO detallado comportamiento del día típico de invierno, dormitorio Sur – T5

	TE	Estado actual	MET 1, Lana	MET 1, Ichu	MET 1, Totora	MET 2, Lana	MET 2, Ichu	MET 2, Totora	MET 3, Lana	MET 3, Ichu	MET 3, Totora
00:00:00	-6.2	9.0	14.0	12.9	12.1	15.4	14.1	13.1	19.7	18.2	17.0
01:00:00	-6.7	8.6	13.9	12.8	12.0	15.4	14.1	13.0	19.6	18.1	16.8
02:00:00	-7.1	8.2	13.7	12.6	11.7	15.3	13.9	12.8	19.5	17.9	16.6
03:00:00	-7.6	7.8	13.5	12.4	11.5	15.1	13.7	12.6	19.4	17.7	16.4
04:00:00	-7.8	7.3	13.2	12.1	11.2	14.9	13.5	12.4	19.2	17.5	16.1
05:00:00	-7.3	7.0	13.0	11.8	10.9	14.7	13.3	12.1	19.0	17.2	15.8
06:00:00	-5.8	6.8	12.8	11.6	10.7	14.5	13.0	11.9	18.8	17.0	15.6
07:00:00	-3.5	6.6	12.7	11.5	10.5	14.3	12.9	11.7	18.6	16.8	15.3
08:00:00	0.0	6.7	13.0	11.8	10.8	14.6	13.1	11.9	18.7	16.8	15.3
09:00:00	3.6	7.0	13.4	12.2	11.2	14.9	13.4	12.2	18.8	16.9	15.4
10:00:00	6.7	7.1	13.7	12.4	11.3	15.0	13.5	12.3	18.6	16.9	15.7
11:00:00	9.0	7.3	13.7	12.4	11.4	15.0	13.4	12.2	18.5	16.8	15.4
12:00:00	10.8	7.8	14.0	12.7	11.7	15.2	13.6	12.4	18.5	16.8	15.6
13:00:00	11.9	8.5	14.3	13.1	12.0	15.4	13.9	12.6	18.6	16.9	15.6
14:00:00	12.2	9.1	14.6	13.4	12.3	15.6	14.1	12.9	18.6	17.0	15.7
15:00:00	11.3	9.6	14.8	13.6	12.6	15.7	14.2	13.1	18.8	17.2	16.0
16:00:00	9.7	10.0	14.9	13.7	12.7	15.8	14.4	13.2	18.8	17.2	16.1
17:00:00	7.8	10.2	14.8	13.6	12.7	15.7	14.3	13.2	18.9	17.4	16.4
18:00:00	5.0	10.2	14.6	13.5	12.6	15.6	14.2	13.2	19.2	17.8	16.7
19:00:00	2.3	10.2	14.5	13.4	12.5	15.6	14.2	13.2	19.3	17.9	16.9
20:00:00	0.3	10.1	14.4	13.3	12.5	15.6	14.3	13.2	19.4	18.0	16.9
21:00:00	-1.5	10.0	14.4	13.3	12.5	15.6	14.3	13.3	19.8	18.6	17.6
22:00:00	-3.2	9.7	14.2	13.2	12.3	15.5	14.2	13.2	19.7	18.5	17.5
23:00:00	-4.8	9.4	14.1	13.1	12.2	15.5	14.2	13.1	19.8	18.3	17.3
MEDIA	1.2	8.5	13.9	12.8	11.8	15.2	13.8	12.7	19.1	17.5	16.2

Fuente: Elaboración propia