

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PUCP

**Diseño y evaluación ambiental de un prototipo de vivienda
bioclimática y de sus parámetros de confort térmico,
lumínico y de ventilación en la ciudad de Lima.**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Civil

AUTORA:

Vanessa Verónica Mestanza Tello

ASESOR:

Federico Alexis Dueñas Dávila

Lima, junio, 2021

RESUMEN

Todos los años, entre los meses de mayo y septiembre, se produce la temporada de bajas temperaturas en el Perú. En zonas alto andinas, debido a su ubicación geográfica, se produce un fenómeno atmosférico llamado “helada”, el cual se presenta cuando la temperatura del aire, existente en las cercanías del suelo, desciende por debajo de los cero grados centígrados. Debido a ello, los pobladores andinos se ven drásticamente afectados en diversos aspectos tales como salud, educación, actividad agrícola y ganadera e infraestructura.

Con el fin de buscar nuevas propuestas sostenibles para estas poblaciones, la presente investigación consiste en la construcción de un prototipo de vivienda bioclimática y el desarrollo de un análisis cuantitativo de la eficiencia térmica, lumínica y de ventilación de la misma. El prototipo se realizó en la ciudad de Lima metropolitana y está basado en un sistema constructivo de quincha, un antiguo método peruano con alta demanda en las zonas rurales y buenas propiedades térmicas, y un techo calefactor generado a través del reciclaje de botellas de plástico PET. Cabe resaltar que, para analizar el comportamiento del mismo, se registraron las temperaturas, intensidades lumínicas y velocidades de ventilación en el interior y exterior de la vivienda a lo largo del día durante 115 días.

Según la evaluación realizada, se apreció un incremento de 6°C en promedio de la temperatura interna con respecto a la del ambiente y, para validar que tan significativa es esta variación, se ingresó la data recopilada al programa estadístico SPSS, en el cual se realizó una comparación de medias con el estadístico de prueba T-Student para un intervalo de confianza de 95% y se determinó que efectivamente la variación obtenida si es significativa.

Se concluye que este incremento de temperatura en el interior de la vivienda contribuye a alcanzar el confort térmico en las viviendas rurales y, como consecuencia, podría mejorar la calidad de vida de los pobladores andinos.

Palabras clave: Confort térmico, sistemas aislantes, material reciclado, energías renovables, Los Andes.

ABSTRACT

Currently, between the months of May and September, the low temperature season occurs in Peru. In high Andean areas, due to its geographical location, an atmospheric phenomenon called "frost" happens. This fact occurs when the air temperature existing near to the ground drops below zero degrees Celsius. Due to this, the Andean population are drastically affected in diverse aspects such as health, education, agricultural and livestock activity and infrastructure.

In order to search new sustainable proposals for these populations, the present research consists in the construction of a bioclimatic housing prototype and the development of a quantitative analysis of its thermal, light and ventilation efficiency. The prototype was made in the metropolitan city of Lima and is based on a quincha construction system, an old Peruvian method with high demand in rural areas and good thermal properties, and a heating roof generated through the recycling of PET plastic bottles. It should be noted that, in order to analyze its behavior, temperatures, light intensities and ventilation speeds were recorded inside and outside the prototype throughout all the day and for 115 days.

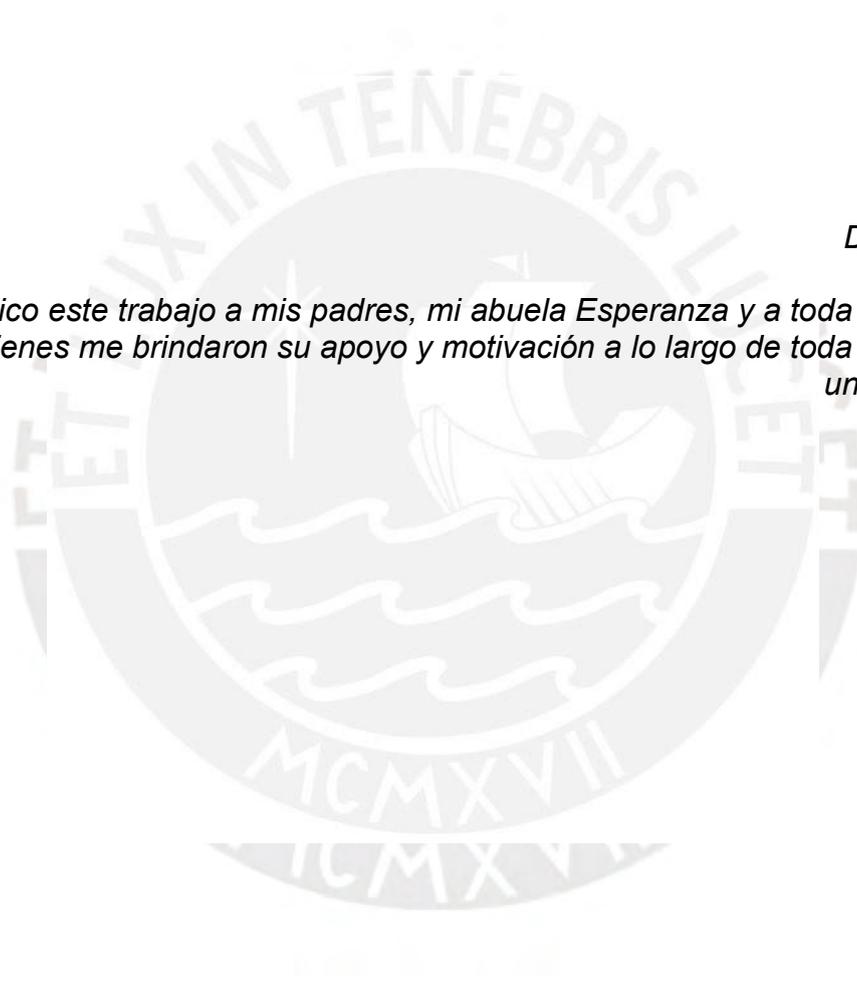
According to the evaluation made, an increase of 6 ° C in average of the internal temperature was observed in comparison with the environment temperature and, to validate how significant this variation is, all the data collected was entered into the SPSS statistical program, in which a comparison of averages was performed with the T-Student test statistic for a confidence interval of 95%. Indeed, it was determined that this variation obtained is significant.

Finally, it is concluded that this increase in the inside temperature of the prototype contributes to achieving the thermal comfort in rural homes and, as a consequence, can improve the quality of life of their andean population.

Keywords: Thermal comfort, insulating systems, recycled material, renewable energy, Territory of the Andes.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, mi abuela Esperanza y a toda mi familia, quienes me brindaron su apoyo y motivación a lo largo de toda mi carrera universitaria.



Agradecimientos

Quisiera comenzar agradeciendo a mi padre, quien ha sido mi mayor ejemplo para superarme en cada aspecto de mi vida, y a mi madre, quien ha sido mi fiel compañera y soporte en las alegrías y adversidades. Ustedes son el motivo por el cual me siento orgullosa de la profesional en la que me he convertido.

Agradezco también a mi abuela, hermano y a todos mis tíos y primos que me vieron crecer a lo largo de estos años. Les aseguro que cada consejo y palabra de aliento de su parte contribuyeron no solo a la conclusión de esta meta profesional, sino a mi crecimiento personal también.

Finalmente, quisiera agradecer a mi asesor Alexis Dueñas, quien, con su dedicación y paciencia, fue una guía ejemplar para la culminación de este trabajo de investigación. Muchas gracias por inspirarme a ser curiosa y dar mi mayor esfuerzo en este y futuros objetivos académicos.

ÍNDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES	1
1.1. PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DE ESTUDIO.....	1
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	5
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	5
1.4. HIPÓTESIS.....	5
1.5. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	6
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES.....	7
2.1.1. <i>Confort Térmico: Un sistema aislante para la vivienda alto andina fabricado con materiales reciclados.</i>	7
2.1.2. <i>Transferencia tecnológica para la mejora de la salud, confort térmico y seguridad (gestión de riesgos) en la vivienda de zonas de clima frío intertropical de altura, aplicada al hábitat alto andino de la región Puno</i>	10
2.1.3. <i>K'OÑICHUYAWASI: Casa Caliente Limpia</i>	14
2.2. MARCO CONCEPTUAL	17
2.2.1. <i>Transferencia de calor</i>	17
2.2.1.1. Transferencia de calor por conducción.....	17
2.2.1.2. Transferencia de calor por convección	18
2.2.1.3. Transferencia de calor por radiación	18
2.2.2. <i>Propiedades térmicas de los materiales</i>	20
2.2.2.1. Conductividad térmica.....	20
2.2.2.2. Resistencia térmica.....	22
2.2.2.3. Transmitancia térmica	22
2.2.3. <i>Cambio climático</i>	24
2.3. ESTADO DEL ARTE	26
2.3.1. <i>Energías renovables en el Perú</i>	26
2.3.2. <i>Vivienda bioclimática</i>	29
2.3.3. <i>Muro trombe</i>	30
2.3.4. <i>Clima en las zonas alto andinas del Perú</i>	32
2.3.5. <i>La quincha como material constructivo</i>	34
3. CAPÍTULO 3	38
3.1. VARIABLES BIOCLIMÁTICAS	38
3.2. DISEÑO METODOLÓGICO.....	41
3.3. OBTENCIÓN DE DATOS Y SU PROCESAMIENTO.....	42
4. CAPITULO 4: ALCANCE DEL PROTOTIPO BIOCLIMÁTICO	47
4.1. UBICACIÓN Y TIEMPO:	47
4.1.1. <i>Tiempo</i>	47
4.1.2. <i>Ubicación</i>	48
4.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO BIOCLIMÁTICO.....	49
4.2.1. <i>Ángulo de inclinación del techo</i>	49

4.2.2. <i>Arquitectura</i>	51
4.1.2.1. Diseño estructural de paneles y cimentaciones	51
4.2.2.2. Diseño de las ventanas	53
4.2.2.3. Diseño del techo	54
4.2.2.4. Diseño final	55
4.3. HERRAMIENTAS Y MATERIALES A UTILIZAR	57
4.4. ENSAYOS DEL SUELO	58
4.4.1 <i>Prueba del enrollado:</i>	58
4.4.2 <i>Prueba de la bolita:</i>	58
4.5. LISTADO DE PARTIDAS.....	60
4.5.1. <i>Preparación del suelo</i>	60
4.5.2. <i>Cimentaciones</i>	61
4.5.3. <i>Paneles típicos</i>	63
4.5.4. <i>Vaciado con barro</i>	66
4.5.5. <i>Techo bioclimático</i>	67
4.6. PRESUPUESTO	70
5. CAPITULO 5: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	71
5.1 DATOS OBTENIDOS	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5.2. COMPORTAMIENTO BIOCLIMÁTICO	71
5.2.1. <i>El régimen térmico</i>	71
5.2.2. <i>El régimen de la Intensidad Lumínica</i>	76
5.2.3. <i>El régimen de Ventilación</i>	80
5.3. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	84
5.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	88
5.4.1. <i>Vivienda bioclimática N°8 del Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento (MVCS)</i> ..	88
5.4.2. <i>Confort Térmico del Arquitecto Cesar Moncloa y la Universidad Continental, sede Huancayo...</i>	97
5.4.3. <i>Construcción de una vivienda solar en base a las propiedades termo físicas y evaluación experimental de su confort térmico en llave</i>	101
8. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN.....	107
BIBLIOGRAFIA	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de escenarios de riesgo para heladas a nivel de centros poblados (Fuente: CENEPRED, 2019)	2
Figura 2-A: Parrilla de botellas recicladas. (Fuente: Moncloa, C., 2017).....	8
Figura 2-B: Colocación de parrillas en techo de vivienda. (Fuente: Moncloa, C., 2017)	8
Figura 2: Parrillas de botellas de plástico de sistema “Confort Térmico”	8
Figura 3: Cuadro comparativo entre las mediciones térmicas de una vivienda común alto andina y una con el sistema de confort térmico. (Fuente: Moncloa, C., 2017).....	9
Figura 4 - A: Uso de drizas como sistema antisísmico en vivienda rural. (Fuente: CIAC – Centro Tierra, 2016).....	11
Figura 4 - B: Panel de aislamiento compuesto por totora, barro alivianado con viruta y paja y sellado de yeso. (Fuente: CIAC – Centro Tierra, 2016)	11
Figura 4 - C: claraboya en espacio tipo esclusa (Fuente: CIAC – Centro Tierra, 2016)	12
Figura 4: Composición del sistema de Transferencia tecnológica (Fuente CIAC – Centro Tierra, 2016)	12
Figura 5: Vivienda construida con sistema de Transferencia tecnológica (Fuente: CIAC – Centro Tierra, 2016).....	12
Figura 6 - A: Muro trombe del sistema K’OÑICHUYAWASI (Fuente: Grupo PUCP, 2016).....	15
Figura 6 - B: Esquema de cocina mejorada del sistema K’OÑICHUYAWASI (Fuente: Grupo PUCP, 2016).....	15
Figura 6 - C: Techo aislado del sistema K’OÑICHUYAWASI (Fuente: Grupo PUCP, 2016).....	16
Figura 6: Composición del sistema K’OÑICHUYAWASI (Fuente: Grupo PUCP, 2016).....	16
Figura 7: Ilustración de transferencia de calor por conducción (Urone Paul, 2012)	17
Figura 8: Transferencia de calor por convección (encyclopedia britannica, 2013)	18
Figura 9: Radiación emitida por el sol a la tierra (UNAM, 2020).....	19
Figura 10: Ejemplificación de dos materiales con alta y baja transmitancia térmica respectivamente (Fuente: Blender, 2014).....	23
Figura 11: Producción del mercado eléctrico por tipo de tecnología (TWh) (Fuente: MINEM, 2020).....	27
Figura 12: Distribución de la producción RER 2018 (Fuente: MINEM, 2020) ..	28
Figura 13: Componentes del muro trombe. (Valdivia, 2017)	30
Figura 14: Funcionamiento Muro Trombe en verano (izq) e invierno (der).	31

(Fuente: Grupo Alzado, 2017).....	31
Figura 15: Corte transversal de Perú (Fuente: Moncloa,2017)	33
Figura 16: Paneles contemporáneos de quincha sin recubrimiento de barro (izq) y con el recubrimiento de barro (der) (Fuente: Cuadrado,2013)	34
Figura 17: Transmitancia térmica de la quincha típica, de las propuestas de mejora y de otros componentes de muro frente algunas normas locales y regionales. Se superpone el peso de los componentes, que aporta una idea de la inercia térmica de los mismos (Fuente: Wieser et al., 2018).	36
Figura 18-A: Registro de temperaturas externas.....	42
Figura 18-B: Registro de temperaturas internas.....	42
Figura 18: Metodología para la toma de data en el piloto. (Fuente propia)	42
Figura 19-A: Ubicación en Google Earth del terreno. (Fuente: Google Earth) .	48
Figura 19-B: Fotografía de la ubicación del piloto (Fuente propia).....	48
Figura 19: Ubicación del proyecto. (Fuente propia).....	48
Fig. 20-A. Ubicación geográfica de la vivienda (Fuente: Google).....	49
Fig. 20-B.Ingreso de datos de ubicación geográfica al Ecotect (Fuente propia)	49
Figura 20: Ubicación geográfica del proyecto y georreferenciación en Ecotect.	49
Figura 21-A: Elaboración del prototipo en el programa Ecotect (Fuente propia)	50
Figura 21-B: Obtención del ángulo del techo en el programa Ecotect (Fuente propia).....	50
Figura 21: Modelamiento del prototipo en el software Ecotect.	50
Figura 22-A: Vista en planta de las cimentaciones prototipo. (Fuente propia) .	51
.....	51
Figura 22-B: Detalle de columna típica. (Fuente propia)	51
Figura 22: Detalle de cimentaciones y columnas del prototipo.....	51
Figura 23-A: Visa frontal del Panel típico PM-1 (Fuente propia)	52
Figura 23-B: Vista frontal del panel típico con ventana PV-1. (Fuente propia) .	53
Figura 23: Vista frontal de los paneles	53
Figura 24: Planteamiento de casos A y B para la colocación de las ventanas en la vivienda en el programa Ecotect. (Fuente propia)	54
Figura 25: Diseño final de tijerales del prototipo. (Fuente propia)	55
Figura 26 - A: Vista exterior 1 del piloto en Sketchup. (Fuente propia)	56
Figura 26 - B: Vista exterior 2 del piloto en Sketchup. (Fuente propia)	56
Figura 26 - C: Vista interior 1 del piloto en Sketchup (Fuente propia).....	56
Figura 26: Vistas internas y externas del piloto en Sketchup. (Fuente propia) .	56

Figura: 27-A: Prueba del enrollado (Fuente: Arriola y Tejada, 2008)	59
.....	59
Figura 27-B: Ilustración de la prueba de la bolita (Fuente: Arriola y Tejada, 2008)	59
Figura 27: Ensayos de suelo realizados.....	59
Figura 28: Designación de lugares en obra. (Fuente propia)	60
Figura 29: Nivelación de terreno. (Fuente propia).....	60
Figura 30: Trazado del terreno. (Fuente propia).....	61
Figura 31: Preparación de materiales. (Fuente propia).....	62
Figura 32. Colocación de madera. (Fuente propia).....	62
Figura 33: Vaciado de concreto y colocación de columnas. (Fuente Propio)...	63
Figura 34: Vaciado de concreto. (Fuente propia)	63
Figura 35: Trabajos de carpintería. (Fuente propia).....	64
Figura 36. Tejido de paneles con cañas. (Fuente propia)	64
Figura 37-A: Vista 1 de colocación de paneles y tijerales. (Fuente propia).....	65
Figura 37-B: Vista 2 de colocación de paneles y tijerales. (Fuente propia).....	65
Figura 37-C: Vista 3 de colocación de paneles y tijerales. (Fuente propia).....	65
Figura 37: Vista de colocación de paneles y tijerales. (Fuente propia)	65
Figura 38: Preparación de la mezcla de barro. (Fuente propia)	66
Figura 39. Vaciado de la mezcla en la estructura. (Fuente propia)	66
Figura 40: Vaciado terminado. (Fuente propia)	66
Figura 41. Preparación de botellas. (Moncloa, 2017).....	67
Figura 42: Armado de filas de botellas. (Fuente propia).....	67
Figura 43: Parrillas envueltas y no envueltas de polipropileno negro. (Fuente propia).....	68
Figura 44: Parrillas de ventanas. (Fuente propia)	68
Figura 45: Prototipo terminado. (Fuente propia).....	69
Figura 47: Comportamiento del régimen térmico externo por unidad de tiempo (semanas) en °C	72
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)	72
Eje Y: temperatura en °C.	72
Figura 46: Comportamiento del régimen térmico interior por unidad de tiempo (semanas) en °C	72
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)	72
Eje Y: temperatura en °C.	72
Figura 48: Comportamiento del régimen térmico comparado al interior y exterior de la vivienda bioclimática. (Fuente propia)	73

Eje X: horarios del tiempo de medición en días (días)	73
Eje Y: temperatura en °C.	73
Figura 49: Comportamiento de la diferencial térmica según horas del día. (Fuente propia).....	74
Eje X: horarios del tiempo de medición	74
Eje Y: diferencial térmica en °C.....	74
Figura 50: Comportamiento de la diferencial térmica promedio observada según el tiempo en días observados. (Fuente propia)	75
Eje X: Días de medición (días).....	75
Eje Y: diferencial térmica en °C.....	75
Figura 51: Comportamiento de la intensidad lumínica al interior de la vivienda por unidad de tiempo (semanas) en lux. (Fuente propia).....	76
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)	76
Eje Y: Intensidad lumínica en lux.	76
Figura 52: Comportamiento de la intensidad lumínica al exterior de la vivienda por unidad de tiempo (semanas) en lux. (Fuente propia).....	77
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)	77
Eje Y: Intensidad lumínica en lux.	77
Figura 53: Comportamiento de la intensidad lumínica comparado al interior y exterior de la vivienda bioclimática. (Fuente propia)	77
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)	77
Eje Y: Intensidad lumínica en lux.	77
Figura 54: Comportamiento de la diferencial de intensidad lumínica según horas del día. (Fuente propia)	78
Eje X: horarios del tiempo de medición	78
Eje Y: diferencial lumínica en lux.....	78
Figura 55: Comportamiento de la diferencial de intensidad lumínica promedio observada según el tiempo (días observados). (Fuente propia)	79
Eje X: días de medición (días).....	79
Eje Y: diferencial lumínica en lux.....	79
Figura 56: Comportamiento del régimen de ventilación al interior de la vivienda por unidad de tiempo (semanas) en m/s. (Fuente propia).....	80
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)	80
Eje Y: Ventilación en m/s.	80
Figura 57: Comportamiento del régimen de ventilación al exterior de la vivienda por unidad de tiempo (semanas) en m/s. (Fuente propia).....	81
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)	81
Eje Y: Ventilación en m/s.	81

Figura 58: Comportamiento del régimen térmico comparado al interior y exterior de la vivienda bioclimática. (Fuente propia)	81
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)	81
Eje Y: Ventilación en m/s	81
Figura 59: Comportamiento de la diferencial de ventilación según horas del día en m/s. (Fuente propia).....	82
Eje X: horarios del tiempo de medición	82
Eje Y: diferencial de ventilación en m/s.....	82
Figura 60: Comportamiento de la diferencial de ventilación promedio observada según el tiempo (días observados). (Fuente propia).....	83
Eje X: días de medición (días).....	83
Eje Y: Ventilación en m/s	83
.....	83
Figura 61: Sistema higrotérmico de cama de piedra. (Fuente: GIZ et al., 2016).....	89
Figura 62: corte transversal en sistema de ventana doble. (Fuente: GIZ et al., 2016).....	89
Figura 63: corte transversal de una casa con fitotoldo adosado (Fuente: GIZ et al., 2016).	90
Figura 64: Temperaturas registradas a las 6 am en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).	90
Figura 65: Temperaturas registradas a las 7 pm en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).	91
Figura 66: Temperaturas registradas a las 8:00 am en interior y exterior del prototipo (Fuente propia).....	92
Figura 64: Temperaturas registradas a las 6 am en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).	92
Figura 67: Temperaturas registradas a las 18:00 pm en interior y exterior del prototipo (Fuente propia).....	93
Figura 65: Temperaturas registradas a las 7 pm en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).	93
Figura 68: Sistema de iluminación económica y ecológica inventada por Alfredo Moser (Fuente: <i>Condominios verdes</i> , 2017)	95
Figura 69: Procedo de armado de la estructura de caña para un invernadero ecológico (Fuente: <i>ecoinventos</i> , 2015).....	96
Figura 70: Acabado final de un invernadero ecológico a base de cañas (Fuente: <i>ecoinventos</i> , 2015).....	96
Figura 72: Temperaturas registradas a las 8:00 am en el interior y exterior del prototipo (Fuente propia).....	98
Figura 71: Cuadro comparativo entre las mediciones térmicas de una vivienda	

común alto andina y una con el sistema de confort térmico. (Fuente: Moncloa, 2017).....	98
Figura 72: Construcción de una vivienda del programa “Casas de botella” en Bolivia. (Fuente: Vaca, 2017).....	100
Figura 73-A: Doble muro de adobe (Fuente: Flores, 2014).....	102
Figura 73-B: Aislamiento de techo con totora..... (Fuente: Flores, 2014).....	102
Figura 73-C: Aislamiento de piso con piedras, ichu y totora. (Fuente: Flores, 2014).....	102
Figura 73-D: Vista de la vivienda concluida (Fuente: Flores, 2014).....	102
Figura 73: Vivienda solar pasivo (Fuente: Flores, 2014).....	102
Figura 74: Comportamiento térmico medido en el interior y exterior de la vivienda solar después de su construcción (Fuente: Flores, 2014).....	103
Figura 75: Construcción de casas con materiales reciclables en Colombia (Fuente: Posada, 2015).....	106



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Lista de materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente. (Fuente: González, 1997)	21
Tabla 2: Características de paneles de quincha (Fuente: Wieser et al., 2018). 36	36
Tabla 3: Formato para toma de datos. Fuente propia	43
Tabla 4: Cuadro de datos de temperatura correspondientes al 17 de noviembre (Fuente propia).....	44
Tabla 5: Cuadro de diferencias de temperatura correspondientes al 17 de noviembre (Fuente propia)	44
Tabla 6: Régimen térmico comparado (adentro y afuera) de la vivienda bioclimática. (Fuente propia)	45
Tabla 7: Análisis semanal de apertura, cierre, máximos y mínimos de tres semanas. (Fuente propia)	45
Tabla 8: Diseño de tijeral tipo armadura. (Fuente: Tejada, 2017)	55
Tabla 9: Presupuesto de obra. Fuente propia	70
Tabla 10: Estadísticas de muestras emparejadas para el régimen térmico. (Fuente propia).....	84
Tabla 11: Prueba de hipótesis para muestras emparejadas para el régimen térmico. (Fuente propia)	85
Tabla 12: Estadísticas de muestras emparejadas para el régimen de intensidad lumínica. (Fuente propia)	85
Tabla 13: Prueba de hipótesis para muestras emparejadas para el régimen de intensidad lumínica. (Fuente propia)	86
Tabla 14: Estadísticas de muestras emparejadas para el régimen de ventilación. (Fuente propia).....	87
Tabla 15: Prueba de hipótesis para muestras emparejadas para el régimen de ventilación. (Fuente propia)	87
Tabla 16: Índices bioclimáticos de la vivienda bioclimática (Fuente propia).....	87
Tabla 17: Promedio y diferencias de temperaturas registradas a las 6 am en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).	91
Tabla 18: Promedio y diferencias de temperaturas registradas a las 7 pm en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).	91
Tabla 19: Presupuesto de los sistemas implementados en la vivienda N°8.....	94
(Fuente: GIZ et al., 2016).	94

1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. Problema

Todos los años en Perú, los pobladores de las regiones alto andinas se ven afectados por un fenómeno meteorológico conocido como Helada. Lamentablemente, entre las principales consecuencias de este fenómeno se encuentran la propagación de enfermedades respiratorias y el declive de las principales fuentes de trabajo de la zona, es decir, la ganadería y la agricultura.

Asimismo, se debe recalcar las austeras condiciones de vida de la población alto andina, donde sus precarias viviendas los obligan a soportar temperaturas extremas durante todo el día, especialmente en la noche. Debido a lo dicho anteriormente, se presenta un proyecto que busca optimizar térmicamente sus viviendas a través de tecnologías sostenibles y adecuadas según el contexto social y la ubicación geográfica de la zona.

1.2. Justificación de estudio

Según el plan multisectorial ante heladas y friaje 2019-2021, solamente en 10 departamentos se concentran más del 90% de la población expuesta a un riesgo alto o muy alto ante los efectos de las heladas y friaje. En este mismo contexto, son Puno y Cusco los que presentan una mayor proporción de población expuesta a las consecuencias de las heladas, con un 34.6% y 22.3% respectivamente. Sin embargo, como se puede apreciar en la siguiente figura 1, los efectos de las heladas se extienden en gran parte de la costa y sierra del país, siendo incluso Lima una de las regiones afectadas también (PCM, 2019):

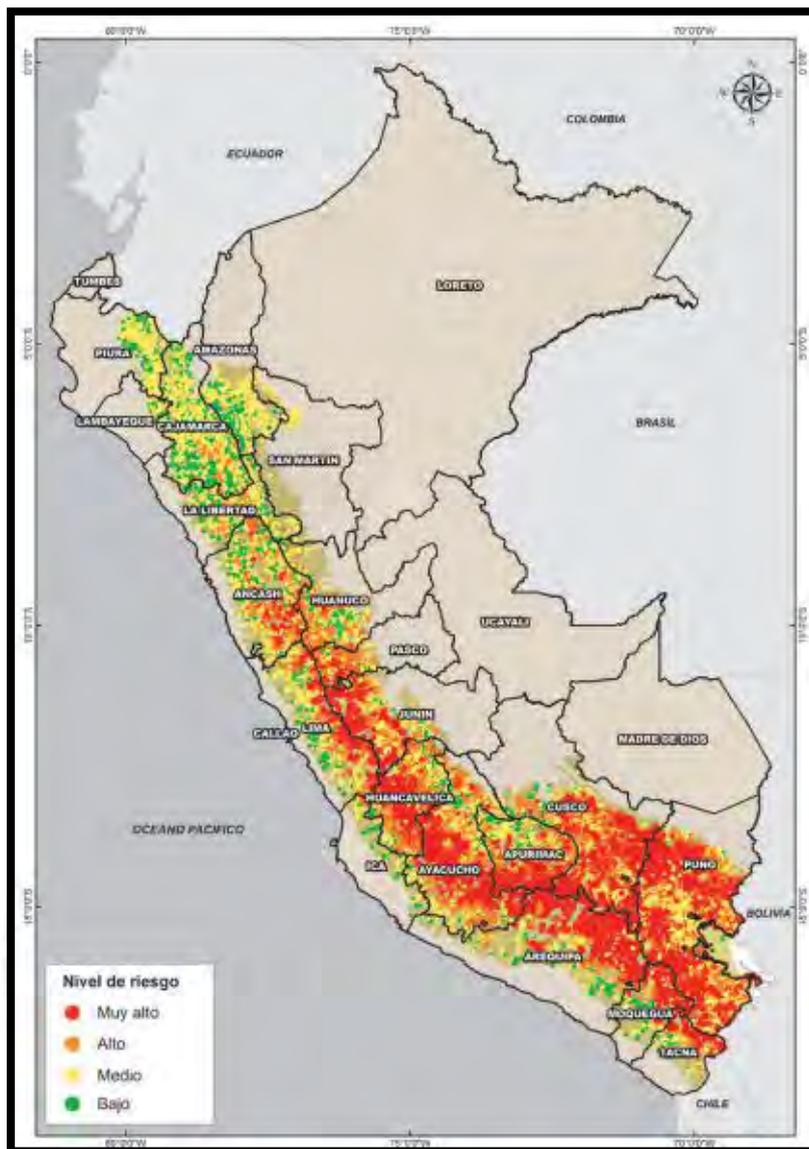


Figura 1: Mapa de escenarios de riesgo para heladas a nivel de centros poblados (Fuente: CENEPRED, 2019)

Lamentablemente, Los distritos de la sierra son los que presentan el mayor índice de pobreza monetaria a nivel nacional. Tal es el caso por ejemplo del distrito de Uchuraccay en Huanta (Ayacucho), con una población de más de 3 mil habitantes que no pueden cubrir gastos básicos como alimentación, educación y vivienda y la cual presenta una tasa de analfabetismo del 34% en su población (INEI, 2020). En este sentido, el contexto de pobreza al cual estas personas se encuentran eleva exponencialmente las consecuencias que generan las heladas y, desafortunadamente, Uchuraccay es solo un ejemplo de las decenas de distritos que son declarados en estado de emergencia por el poder ejecutivo año tras año.

Asimismo, otro de los factores a analizar es la inadecuada alimentación y acceso restringido a los servicios de salud de los pobladores, lo que genera que sean extremadamente vulnerables a las infecciones respiratorias agudas (IRA) como resfríos, bronquitis, pulmonía y, principalmente, la neumonía. Como consecuencia de ello, en el 2018 las heladas afectaron a 407 mil personas, ocasionando la muerte de más de 700 personas por enfermedades respiratorias, de las cuales 177 eran niños menores de 5 años (MINSA, 2019)

Finalmente, otro factor importante a tomar en cuenta es el cambio climático debido a que el calentamiento global ha provocado que las regiones altoandinas sufran de un gran estrés térmico a lo largo del día, soportando temperaturas elevadas en aumento durante el día y vientos gélidos de las heladas durante la noche.

Esto demuestra que, a pesar de los esfuerzos y planes gubernamentales ejecutados hasta la fecha, un considerable porcentaje del apoyo que reciben estas comunidades terminan siendo de forma reactiva sin generar un cambio significativo en las raíces del problema y, por ende, las cifras continúan siendo alarmantes. Es por ello que es necesario identificar los enfoques clave para elaborar propuestas sostenibles para las heladas y uno de ellos son las condiciones de vivienda actuales de los pobladores andinos.

Las típicas viviendas andinas presentan tres características predominantes: techo de calamina, paredes de adobe o piedra con barro y piso de tierra (INEI, 2017). Estas características no logran generar confort térmico para la vida cotidiana de las personas. Con respecto a este punto, se define confort térmico como un grado de bienestar y comodidad que permite a las personas desenvolverse en múltiples actividades a lo largo del día, como por ejemplo comer, descansar o estudiar sin ser interrumpidos por temperaturas extremas, tanto de frío como de calor (Blender, 2015) En resumen, es una situación óptima de calidad de vida en términos de temperatura y humedad y, en contraste con las viviendas andinas actuales, existen numerosos motivos por los que estas últimas no generan confort térmico e inclusive intensifican más aun las consecuencias de las heladas.

Primeramente, los techos de calamina son de un material que no aísla térmicamente la casa del exterior, es decir, debido a su composición y forma irregular, permite el ingreso del viento gélido al interior de la vivienda. Además, a pesar de que la lata es resistente a la corrosión, las lluvias, granizos y nevadas que son comunes en estas regiones generan un desgaste en el techo que termina oxidando y quebrando al material, generando filtraciones de lluvia e ingreso del aire frío.

En segundo lugar, estas construcciones de adobe o barro se desarrollan de una manera tan informal que presentan grietas y aberturas considerables en el encuentro del techo y las paredes, el marco de las ventanas y puertas y en las paredes mismas. Además, no se cuenta con un correcto plan de reparación y reforzamiento de estos orificios por lo que la casa termina perdiendo calor a lo largo del día y la noche.

En tercer lugar, la baja temperatura también es producto de la humedad por capilaridad proveniente de la tierra y, puesto que estas viviendas no cuentan con un revestimiento en el suelo, la humedad sube directamente a la casa y a los pies de los pobladores, ocasionándoles enfermedades respiratorias (GIZ et al., 2016). Como resultado final, miles de pobladores sobreviven a temperaturas de hasta menos 20°C no solo en el exterior de sus viviendas, sino en el interior de las mismas también (FONDECYT, 2016)

Después de todo lo expuesto anteriormente, se reconoce una problemática social y una iniciativa que propone una solución frente a la austera calidad de vida de los pobladores alto andinos. Debido a ello, la presente investigación plantea una solución sostenible con tres enfoques. Primeramente, sostenible ambientalmente con la misma región geográfica al utilizar materiales provenientes y accesibles a la misma zona. En segundo lugar, ser económicamente viable según el contexto social de sus pobladores y, en tercer lugar, ser sostenibles con el planeta al emplear a las energías renovables como fuente de calor.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de vivienda bioclimática basado en un sistema constructivo de quincha y un techo calefactor de botellas de plástico PET (politereftalato de etileno) en la región de Lima metropolitana

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estudiar el comportamiento del régimen térmico, lumínico y de ventilación en el interior y exterior del prototipo bioclimático a lo largo del tiempo.
- Comparar el comportamiento del régimen térmico, lumínico y de ventilación entre el interior del prototipo bioclimático y el exterior del mismo.
- Estimar los índices bioclimáticos de la vivienda bioclimática y generar un análisis comparativo con otras viviendas de la misma índole.

1.4. Hipótesis

La pregunta principal de la investigación es si el prototipo al cual se le añadirá este nuevo sistema, tendrá una variación térmica de al menos 6°C del interior con respecto al exterior.

Las hipótesis de investigación son las mostradas a continuación:

- La temperatura en el interior de la vivienda será significativamente diferente y mayor a la exterior de la misma.
- La intensidad lumínica en el interior de la vivienda será significativamente diferente a la exterior de la misma y, además, existe una intensidad lumínica de al menos 1 lux en el interior de la vivienda durante la tarde

- La ventilación en el interior de la vivienda será significativamente diferente a la exterior de la misma y, además, existe al menos 0.1 m/s en el interior de la vivienda durante el día

1.5. Alcance y limitaciones

La presente investigación consiste en realizar una evaluación experimental del rendimiento térmico, lumínico y de ventilación de un prototipo de vivienda bioclimática. El sistema seleccionado para esta vivienda bioclimática consiste en un sistema constructivo a base de quincha y un techo calefactor construido con botellas de plástico recicladas. Para ello, se construyó un piloto a escala de una vivienda alto andina en la ciudad de Lima Metropolitana y se procedió a registrar las temperaturas, intensidades lumínicas y velocidades de ventilación en el interior y exterior de la misma a lo largo del día. Cuando se haya recolectado la data durante 115 días, se procederá a hacer un análisis cuantitativo para determinar su eficiencia en los tres factores mencionados anteriormente y comparar sus resultados con otros proyectos de la misma índole.

Con respecto a las limitaciones de este proyecto, en primer lugar, el escenario ideal hubiera sido desarrollar el prototipo en una zona alto andina para que los resultados obtenidos sean más cercanos a la población crítica.

Por otro lado, los datos obtenidos son una representación para el periodo en el cual fue probado el prototipo, los cuales fueron las estaciones de primavera y verano del año 2019, mas no para todo el año. Además, cabe resaltar que se tuvo un horario restringido para la toma de data debido a disposiciones internas del terreno, el cual fue de 8:00 am a 6:00 pm. En relación a ello, el horario ideal hubiera sido entre las 6:00 pm y 4:00 am debido a que son las horas de temperatura más críticas en las zonas rurales.

Finalmente, las mediciones realizadas no pudieron darse de forma continua debido al restringido acceso al terreno donde se encontraba el piloto. Pese a ello, el tiempo máximo de pausa en la toma de mediciones fueron de 7 días calendario.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Confort Térmico: Un sistema aislante para la vivienda alto andina fabricado con materiales reciclados.

El presente proyecto titulado “Confort térmico” comenzó a desarrollarse en el año 2017 y fue liderado por el arquitecto Cesar Moncloa Guardia en colaboración con los alumnos de la cátedra de Acondicionamiento y Servicios I de la Universidad Continental sede Huancayo. A lo largo de su desarrollo, la misma casa de estudios y el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en la división del Programa Nacional de vivienda rural TAMBOS, se unieron como aliados estratégicos para replicar los resultados en otras comunidades y, de esta manera, aumentar el número de beneficiarios.

“Confort Térmico” es el nombre de un proyecto que tiene como principal objetivo disminuir las muertes por enfermedades asociadas a las heladas en las regiones alto andinas del país. Debido a que se desarrolló mediante la implementación de viviendas bioclimáticas, se analizó minuciosamente los materiales a emplear, tanto por sus propiedades térmicas como por el costo, el cual debía ser prácticamente nulo. A la vez, también tuvo un enfoque en los problemas de la contaminación ambiental por desechos de plástico, en el cual se encontró una oportunidad mirando a la basura como una gran fuente de materiales muy económicos y alternativos de construcción para el futuro (Moncloa C., 2017).

A continuación, se explicará cómo funciona el sistema de Confort térmico para una vivienda en específico. Este sistema toma como línea base al aire como el mejor aislante, debido a su baja conductividad térmica y su costo cero. En base a ello, para que este aislante funcione debe estar encapsulado y, frente a esta necesidad, surge la idea de utilizar a la botella reciclada de PET de 750 ml. Este sistema de climatización es bastante simple: a cada botella se le corta la base para luego empalmarla con otra hasta crear tubos de 1.8 m. de largo, donde cada botella cortada contiene un compartimiento de aire estancado. Asimismo, a través de un filamento de rafia (cuerda de plástico muy común en

el Perú), la cual se amarra por el interior de las botellas empalmadas, se garantiza la cohesión de las mismas por compresión (Moncloa C., 2017), ello se aprecia en la figura 2-A.

Aproximadamente cada 10 tubos dispuestos uno al costado del otro, se rigidizan a través de dos hileras de tubos adicionales, dispuestos en sentido contrario (uno al inicio y otro al final), formando lo que se denomina una “parrilla”. Cabe resaltar que las parrillas típicas estaban conformadas por 140 botellas recicladas y ello tenía un peso total aproximado de 4 Kg (Moncloa C., 2017). Finalmente, las parrillas se amarran en el techo, puertas y ventanas hacia el interior de la vivienda y se agrega una capa de material aislante que disminuye las pérdidas de calor durante las noches y madrugadas. Esta instalación se puede observar en la figura 2-B mostrada a continuación:



Figura 2-A: Parrilla de botellas recicladas.
(Fuente: Moncloa, C., 2017)



Figura 2-B: Colocación de parrillas en techo de vivienda. (Fuente: Moncloa, C., 2017)

Figura 2: Parrillas de botellas de plástico de sistema “Confort Térmico”

Para medir la efectividad de dicho sistema, se realizaron mediciones térmicas a intervalos de una hora desde la media noche hasta las 5 de la mañana en una vivienda piloto implementada. Primero se realizaron las mediciones en la vivienda sin el sistema “confort térmico” y, luego de la implementación, se volvieron a medir para comparar los datos con esta propuesta de mejora. Se comprobó que este sistema genera una mejora de entre 2°C a 3°C, comparado con las viviendas antes de instalado el sistema (Moncloa C., 2017). En ambos análisis, estas mediciones se realizaron durante una semana y se muestran gráficamente en la figura 3 mostrada a continuación:

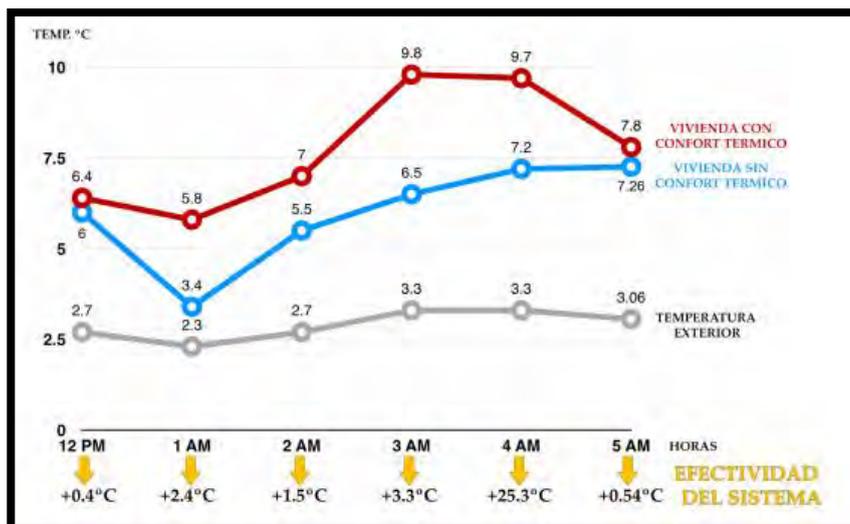


Figura 3: Cuadro comparativo entre las mediciones térmicas de una vivienda común alto andina y una con el sistema de confort térmico. (Fuente: Moncloa, C., 2017)

Hasta la fecha, este sistema se ha implementado en 25 viviendas de las comunidades de Rio Molino y Siusa en Junín y en la comunidad de Luquina en Puno. Finalmente, la proyección a futuro de este proyecto es incrementar la eficiencia térmica del sistema hasta llegar a los 5°C o 6°C, para lo cual se enfocan en la termo formación de la botella reciclada para generar una sección cuadrada de tal manera que se reduzcan los puentes térmicos resultantes al juntar las botellas de forma cilíndrica. (Moncloa C., 2017).

2.1.2. Proyecto CTIERRA-PUCP: Transferencia tecnológica para la mejora de la salud, confort térmico y seguridad (gestión de riesgos) en la vivienda de zonas de clima frío intertropical de altura, aplicada al hábitat alto andino de la región Puno

La presente investigación viene siendo desarrollada desde inicios del 2014 por el Grupo Centro Tierra PUCP (CTIERRA-PUCP) y es liderada principalmente por la arquitecta Sofía Rodríguez-Larraín. A la vez, ha logrado obtener financiamiento por parte de CIENCIACTIVA, marca institucional del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT), y la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Este proyecto tiene como objetivo principal investigar las condiciones de vida en zonas rurales altoandinas y desarrollar una tecnología que, por un lado, eleve la temperatura interior de las viviendas alto andinas entre 5 y 10 °C y, por otro lado, asegure un sistema sismo resistente en las mismas. El caso de estudio se aplica a una comunidad ganadera de la provincia de Lampa en la región Puno, la cual se sitúa a una altitud de 4,700 msnm y se encuentra una de las zonas de mayor incidencia de heladas.

Como parte de la investigación previa, se estudiaron viviendas de toda la zona de Puno, especialmente los alrededores del lago Titicaca y las montañas del altiplano por encima de los 3800 y hasta los 5000 msnm. Asimismo, también se visitaron sitios arqueológicos y coloniales para analizar las soluciones constructivas que se habían desarrollado en la antigüedad y cómo estas guardaban relación con su exterior. Uno de los hallazgos más valiosos que se obtuvieron en campo fue la recuperación del uso de la totora para la construcción de las viviendas debido a que esta puede crecer hasta a los 4000 metros de altitud y tiene altísimas propiedades aislantes, inclusive mayor aún que el adobe. Debido a ello y que además es un material abundante, de fácil transporte y accesible a la economía familiar, se escogió a la totora como parte de este nuevo sistema termo aislante. De la misma forma, para garantizar que este proyecto sea sismo resistente y sostenible con la localidad, se decidió utilizar un sistema de drizas. En efecto, los refuerzos ensayados a través del amarre de las estructuras de adobe con mallas de soguilla de nylon, conocido

popularmente como driza, han demostrado su capacidad de sostener los muros y techos en los ensayos del laboratorio de simulación sísmica. Es decir, la soguilla cumplió con las condiciones requeridas por la replicabilidad del proyecto (Rodríguez-Larrain et al., 2018).

La propuesta final fue una construcción de adobe reforzado con mallas de driza, como se puede apreciar en la figura 4-A; un panel de aislamiento compuesto por totora, barro alivianado con viruta y paja y sellado de yeso, como se visualiza en la figura 4-B y; finalmente, una claraboya en espacio tipo esclusa en la mitad del techo, la cual permite que el calor emitido del sol ingrese a la vivienda, se incremente la intensidad lumínica interior y se retenga la energía calorífica del día para calentar el interior de la vivienda a lo largo de la noche (Rodríguez-Larrain et al., 2016)., la cual se muestra en la figura 4-C.



Figura 4 - A: Uso de drizas como sistema antisísmico en vivienda rural. (Fuente: CIAC – Centro Tierra, 2016)



Figura 4 - B: Panel de aislamiento compuesto por totora, barro alivianado con viruta y paja y sellado de yeso. (Fuente: CIAC – Centro Tierra, 2016)



Figura 4 - C: claraboya en espacio tipo esclusa (Fuente: CIAC – Centro Tierra, 2016)

Figura 4: Composición del sistema de Transferencia tecnológica (Fuente CIAC – Centro Tierra, 2016)

En agosto de 2016, miembros del equipo de investigación pasaron la noche en la vivienda piloto construida, la cual puede apreciarse en la figura 5, realizando mediciones en la tarde, noche y madrugada. Los resultados fueron bastante favorables debido a que, durante gran parte de la noche, la temperatura interior promedio se mantuvo en los 7 grados centígrados, mientras que la exterior promedio se mantuvo en 10 grados bajo cero, es decir, existía una diferencia de 17°C entre el exterior e interior de la vivienda.



Figura 5: Vivienda construida con sistema de Transferencia tecnológica (Fuente: CIAC – Centro Tierra, 2016)

Paralelo a ello, las obras se realizaron en base a la modalidad de obra-taller con implementación de talleres participativos teóricos y prácticos en los que fueron capacitados 24 comuneros, entre mujeres y hombres. En efecto, parte de la estrategia era generar educación para la prevención, capacitando a pobladores como constructores y auto constructores en técnicas mejoradas de reparación y construcción nueva (Rodríguez-Larrain et al., 2018).

Finalmente, este proyecto generó diversos impactos. Por un lado, el uso de la totora en la construcción de viviendas bioclimáticas tendrá significativos efectos económicos y sociales en la población alto andina y, por otro lado, los pobladores capacitados podrán replicar esta tecnología en obras privadas y públicas, generando nuevas oportunidades de desarrollo en la zona.



2.1.3. K'OÑICHUYAWASI: Casa Caliente Limpia

El presente proyecto ha sido desarrollado desde el 2013 hasta el 2019 por el Grupo de Apoyo al Sector Rural de la Pontificia Universidad Católica del Perú (GRUPO PUCP) liderado principalmente por los ingenieros Jorge Elías Soria Navarro, Miguel Hadzich Marin, Carlos Hadzich Marin y Victor Ramos Abensur. Es importante recalcar que ha logrado recibir financiamiento por parte del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (FONDECYT), la Dirección de Gestión de la Investigación (DGI) de la Pontificia Universidad Católica del Perú y el Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES).

K'OÑICHUYAWASI inició con dos objetivos principales. En primer lugar, generar una alternativa tecnológica para mejorar el ambiente térmico de las viviendas de los pobladores andinos que viven a más de 3500 msnm. En segundo lugar, reducir el impacto negativo producido por las emisiones de humo en las típicas cocinas rurales. Este último objetivo se planteó debido a que se estima que el daño generado por la cocina rural es equivalente a que sus pobladores fumen 20 cajetillas de cigarrillos al día (Grupo PUCP, 2016).

Dicho paquete tecnológico está constituido por tres partes: pared caliente, cocina mejorada y sistema de aislamiento. Primeramente, la pared caliente, conocida también como "muro trombe", consiste en una estructura de madera y plástico instalada de forma inclinada sobre una de las paredes de la vivienda y hacia el exterior de la misma. Debido a que dicha estructura genera una captación solar directa, se origina una circulación de aire caliente por la diferencia de temperaturas en el espacio entre la estructura y la pared de la vivienda. Finalmente, a través de unas aberturas en la pared, se puede regular el ingreso de este aire caliente y, debido a ello, aumentar la temperatura de la vivienda con respecto a la del exterior. El objetivo de esta primera parte es originar confort térmico para los habitantes de la vivienda y, como consecuencia de ello, disminuir la incidencia de enfermedades respiratorias. Dicho muro se muestra en la figura 6-A mostrada a continuación.

En segundo lugar, se buscaba reemplazar a la cocina rural y, en ese sentido, se optó por una estructura de barro con una chimenea y una plancha de metal,

la cual ahorra leña o bosta y libera el dañino humo generado al cocinar a fuego abierto. La meta de la segunda parte de este sistema es reducir el impacto negativo del humo en la salud de los pobladores beneficiarios. Esta propuesta de mejora en la cocina se puede apreciar en la figura 6-B.

Por último, se colocó una malla tipo arpillera revestida con una capa de cola y yeso en el techo para que el calor producido por el muro trombe pueda conservarse. Asimismo, tanto los orificios en las paredes como las juntas de las puertas y ventanas con los muros fueron reforzados con el fin de impedir una fuga del calor obtenido. Esta última parte del sistema se aprecia en la figura 6-C mostrada en la siguiente tabla:



Figura 6 - A: Muro trombe del sistema K'OÑICHUYAWASI (Fuente: Grupo PUCP, 2016).

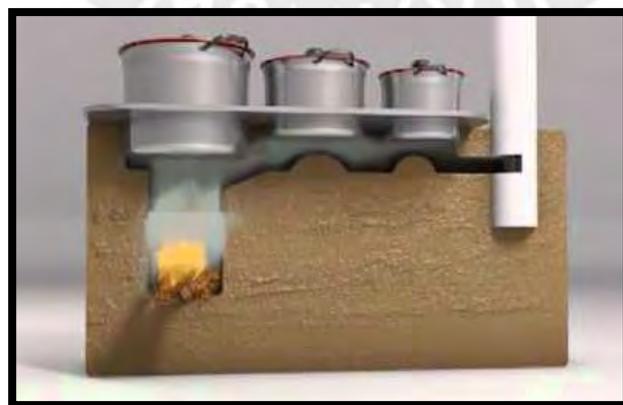


Figura 6 - B: Esquema de cocina mejorada del sistema K'OÑICHUYAWASI (Fuente: Grupo PUCP, 2016).



Figura 6 - C: Techo aislado del sistema K'ONICHUYAWASI
(Fuente: Grupo PUCP, 2016).

Figura 6: Composición del sistema K'ONICHUYAWASI (Fuente: Grupo PUCP, 2016).

Con la implementación del K' onichuyawasi se obtuvieron resultados bastante alentadores debido a que se ha logrado comprobar que logra subir como mínimo 8°C de temperatura con respecto a una vivienda sin paquete tecnológico y más de 15° C con respecto al medio ambiente (Alayza, 2018).

Desde que se comprobaron sus resultados, se han podido implementar más de 4000 casas calientes en más de 12 regiones del Perú gracias a los diversos inversionistas del proyecto (PCM, 2019). Haciendo énfasis en ello, el sistema K'ONICHUYAWASI fue seleccionado por el Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS) para que sea el diseño del proyecto Mi Abrigo, gestionado por el Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social (FONCODES). Dicho proyecto es parte fundamental del Plan Multisectorial ante Heladas y Friajes 2019-2021, el cual es el plan de la presidencia del consejo de ministros (PCM) para implementar medidas sostenibles de prevención y reducción del riesgo a los efectos de dichos fenómenos. Finalmente, dicho plan tiene proyectado que para su culminación se hayan implementado 22,265 viviendas con el sistema K'ONICHUYAWASI en más de 2102 centros poblados y, para ello, se destinó un presupuesto de 280,508,643.00 nuevos soles (PCM, 2019).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Transferencia de calor

El calor es una forma de energía asociada a una gradiente de temperatura y se produce debido a los movimientos vibratorios de los átomos y las moléculas que forman los cuerpos (Bernal, 2014). En efecto, para que exista una transferencia de calor entre dos materiales, debe existir una diferencia de temperatura entre ellos y dicho calor se transferirá desde el material con mayor temperatura hacia el de menor. Dicho proceso ocurrirá hasta que, en algún momento, dichos materiales lleguen al equilibrio térmico, es decir, que alcancen la misma temperatura (Bernal, 2014). Se reconocen principalmente tres modos de transferencia de calor, los cuales se explicarán a continuación.

2.2.1.1. Transferencia de calor por conducción

Es la transferencia que se da por el contacto directo de las partículas de una sustancia con otra o también por la diferencia de temperatura en los extremos de un mismo material (Serway, 2001). En ambos casos, la energía térmica, en forma de energía cinética, se propaga por vibración de partícula en partícula. Es otras palabras, las moléculas que tienen una mayor vibración y energía, y por ende una mayor energía cinética, les transfieren energía a otras con menor vibración y energía (Lestina y Serth, 2010). De esta manera, las moléculas vecinas van transfiriendo el calor unas a otras de forma sucesiva sin que los átomos se muevan, debido a que el movimiento es solamente de la energía. En la siguiente figura 7 se puede ilustrar lo dicho anteriormente:

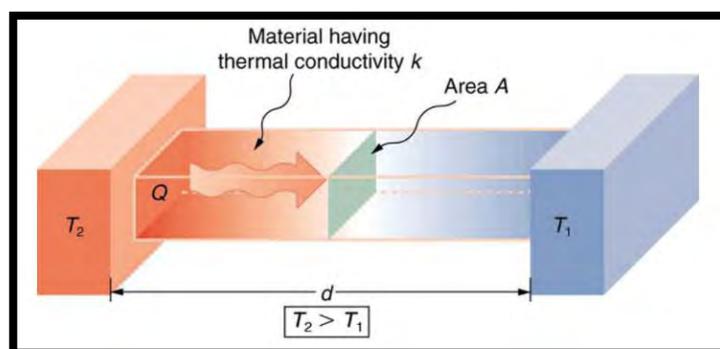


Figura 7: Ilustración de transferencia de calor por conducción (Urone Paul, 2012)

2.2.1.2. Transferencia de calor por convección

La transmisión de calor se da por convección debido al movimiento molecular y la transferencia de energía que se da a través de un fluido intermediario, el cual puede ser gaseoso o líquido. Es decir, el movimiento de este fluido causa corrientes y remolinos que promueven la mezcla y distribución de dicha energía. Este movimiento puede darse de forma natural debido a una gradiente de densidad, como por ejemplo el ascenso del aire caliente y el descenso del aire frío, o por una presión forzada, en la cual existe un dispositivo mecánico que genera dicho movimiento (Martin, 2015). Para ejemplificar dicha transferencia, en la siguiente figura 8 se muestra una ilustración de cómo se calienta el agua a través de la convección:

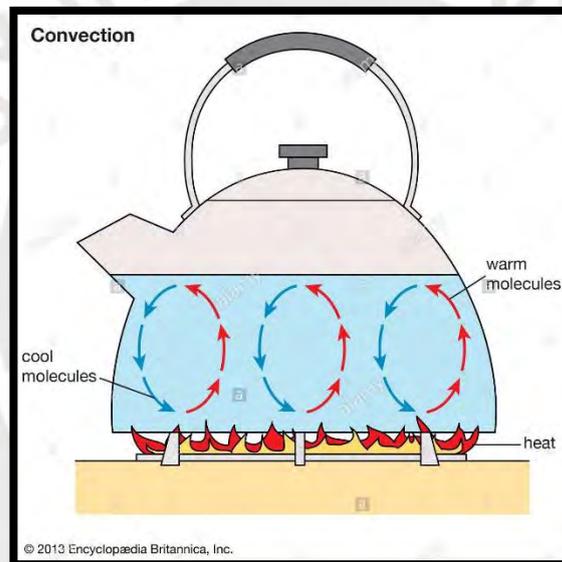


Figura 8: Transferencia de calor por convección (encyclopedia britannica, 2013)

2.2.1.3. Transferencia de calor por radiación

Finalmente, la radiación se transfiere cuando un cuerpo caliente emite energía que puede actuar sobre otro sistema a través de ondas electromagnéticas, tales como la luz visible, el infrarrojo y la radiación ultravioleta. A diferencia de la transferencia por convección, en ausencia de un medio, existe una transferencia neta de calor por radiación entre dos superficies a diferentes temperaturas, debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas (Incropera y Dewitt, 1999).

Es decir, dicha transferencia ocurre entre dos sólidos de diferentes temperaturas sin que exista entre ellos ningún punto de contacto ni un sólido conductor. El ejemplo más común de la transferencia de calor por radiación es la emitida del sol a la tierra, en donde a través del espacio, el cual actual como un vacío, se propagan ondas que calientan al planeta y a quienes lo conforman. Dicho ejemplo se ilustra en la siguiente figura 9 mostrada a continuación:

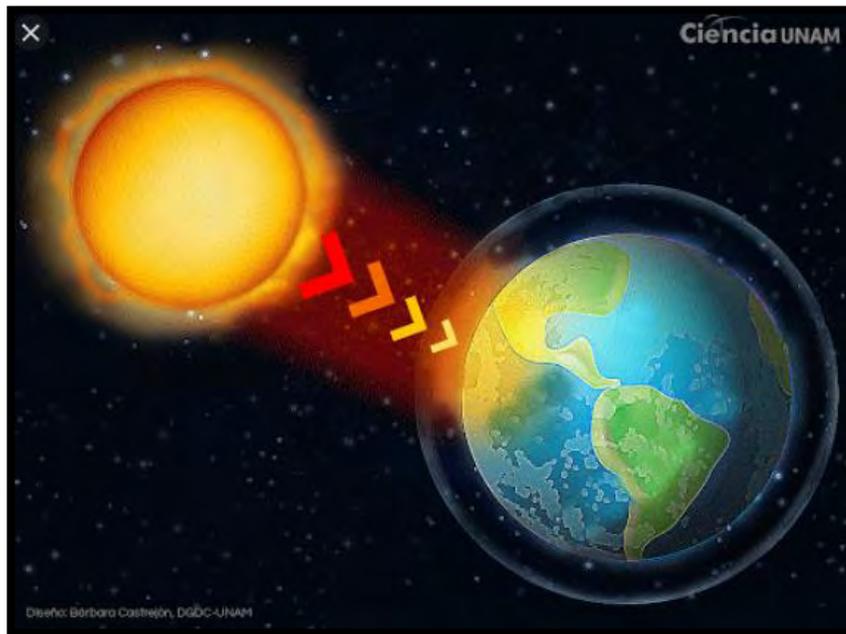


Figura 9: Radiación emitida por el sol a la tierra (UNAM, 2020)

2.2.2. Propiedades térmicas de los materiales

Son aquellas propiedades que determinan el comportamiento de los materiales frente al aumento de temperatura, es decir, estudian sus reacciones frente al calor. Efectivamente, estudiarlas resulta de gran utilidad para diseñar procesos en los que los materiales deban calentarse o para seleccionar materiales que deban transferir rápidamente el calor (Askeland y Wright, 2017). A continuación, se explicarán las principales propiedades térmicas en los materiales:

2.2.2.1. Conductividad térmica

Es una propiedad física de los materiales la cual mide su capacidad de conducir calor a través de ellos. Cabe resaltar que es una capacidad intrínseca de los mismos, es decir, es una propiedad de cualquier material independientemente si se considera aislante o no. En efecto, dicha propiedad podría determinar si el material de un muro puede aislarlo del frío exterior. Continuando con ello, se dice que un material tiene un alto índice de conductividad térmica cuando al calentarlo casi todo el calor lo atraviesa. Debido a ello, también se puede decir que dicho material tiene baja aislación térmica. De la misma forma, se dice que un material tiene un bajo índice de conductividad térmica cuando al calentarlo dicho calor queda atrapado en el material. A causa de ello, se considera que dicho material tiene una alta aislación de calor (Chapman, 1990).

El coeficiente de conductividad térmica se representa por el símbolo λ y en las unidades del sistema internacional se mide en vatios / (metro \times Kelvin) ($W/(m \cdot K)$). En la siguiente tabla 1 se puede observar un resumen de las propiedades térmicas de 28 materiales, entre las cuales se encuentra su conductividad térmica (λ). Según la tabla, materiales como el poliuretano, el cual tiene un λ bajo de 0,026 W/mK se puede considerar un excelente aislante. Sin embargo, el ladrillo o el vidrio serían menos aislantes que el poliuretano ya que tienen valores de 0,814 W/mK y 1,160 W/mK respectivamente. A la vez, materiales como el cobre o el acero, los cuales tienen valores de 389 W/mK y 50 W/mK respectivamente, no son considerados aislantes en lo absoluto sino más bien todo lo contrario y se les denomina conductores.

Tabla 1: Lista de materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente.
(Fuente: González, 1997)

Lista de materiales y sus propiedades térmicas a temperatura ambiente						
ITEM	Material	λ W/Mk	ρ kg/m ³	C_p J/KgK	a m ² /s	b J/m ² Ks
1	Poliuretano	0.026	30.000	1,400	6.19E-07	3.30E+01
2	Aire	0.026	1.223	1,063	2.02E-05	5.85E+00
3	Poliestireno	0.035	50.000	1,675	4.18E-07	5.41E+01
4	Espuma fenólica	0.038	30.000	1,400	9.05E-07	3.99E+01
5	Lana de vidrio	0.041	200.000	656	3.13E-07	7.33E+01
6	Corcho comprimido	0.085	540.000	2,000	7.87E-08	3.03E+02
7	Mortero de cemento	0.09	1,920.000	669	7.01E-08	3.40E+02
8	Madera de construccion	0.13	630.000	1,360	1.52E-07	3.34E+02
9	Madera de pino	0.148	640.000	2,512	9.19E-08	4.87E+02
10	Madera pesada	0.2	700.000	1,250	2.29E-07	4.18E+02
11	Concreto celular	0.2	600.000	880	4.17E-07	3.41E+02
12	Tierra con paja	0.3	400.000	900	8.33E-07	3.29E+02
13	Concreto celular	0.33	800.000	880	4.69E-07	4.82E+02
14	Yeso	0.488	1,440.000	837	4.05E-07	7.67E+02
15	Mortero cemento/arena	0.53	1,570.000	1,000	3.38E-07	9.12E+02
16	Agua	0.582	1,000.000	4,187	1.39E-07	1.56E+03
17	Ladrillos de arcilla	0.814	1,800.000	921	4.91E-07	1.16E+03
18	Tierra muro portante	0.85	2,000.000	900	4.72E-07	1.24E+03
19	Vidrio Plano	1	2,490.000	830	5.61E-07	1.55E+03
20	Arcilla	1	1,460.000	579	9.97E-07	1.28E+03
21	Piedra arenisca	1	2,000.000	712	9.13E-07	1.36E+03
	Concreto pesado	2	2,300.000	920	8.27E-07	1.92E+03
23	Piedra	2	2,250.000	712	1.16E-06	1.73E+03
24	Marmol	3	2,590.000	800	1.40E-06	2.45E+03
25	Granito	4	2,500.000	754	1.86E-06	2.57E+03
26	Acero	50	7,800.000	512	1.25E-5	1.41E+04
27	Aluminio	160	2,800.000	896	6.38E-05	2.00E+04
28	Cobre	389	8,900.000	385	1.13E-04	3.65E+04
	Max	389	8,900	4187	1.13E-04	3.65E+04
	Min	0.026	1.223	385	7.01E-08	5.85
	Rango	389	8899	3802	1.13E-04	3.65E+04

Asimismo, es importante recalcar que la conductividad térmica depende de factores como la composición del material y su porosidad (Chapman, 1990). Con respecto al primer punto y, a manera de ejemplo, los metales tienen una alta conductividad térmica; los cerámicos una intermedia y la madera una muy baja. Por otro lado, si el material es poroso es casi seguro que tenga una baja conductividad térmica debido a que el calor que viaja a través del material debe calentar los poros que encuentra en su camino y, por ende, queda atrapado en ellos. Debido a ello, en los materiales porosos se genera una gran pérdida de calor y, por ende, su conductividad baja.

En síntesis, para que un material sea considerado un buen aislante debe tener un bajo índice de conductividad térmica (Chapman, 1990).

2.2.2.2. Resistencia térmica

Es la capacidad del material de oponerse al flujo de temperatura y se simboliza con la letra R . En el caso de materiales homogéneos, se representa como la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material (Chakravarti, 2014), como se muestra en la siguiente ecuación 1:

$$R = \frac{e}{\lambda} \quad (1)$$

Sus unidades según el sistema internacional son metro cuadrado y kelvin por vatio donde e es el espesor de la capa en metros (m) y λ (lambda) la conductividad térmica del material en $W/(K \cdot m)$.

En síntesis, para que un material sea buen aislante debe tener una resistencia térmica alta (Chakravarti, 2014).

2.2.2.3. Transmitancia térmica

Se refiere a la cantidad de calor que atraviesa un sistema constructivo, es decir, la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie en un conjunto de elementos como por ejemplo un cerramiento o la sección de una fachada (Cromer y Fernández, 1986). En efecto, esta propiedad se representa por la letra U y es equivalente a la inversa de la suma de todas las resistencias térmicas de cada elemento que conforman a dicho conjunto. Se muestra de la siguiente ecuación 2:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{s_i} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{s_e}} \quad (2)$$

Donde:

- R_t : resistencia térmica total ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
- R_{s_i} : resistencia térmica superficial interior ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)
- R_{s_e} : resistencia térmica superficial exterior ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)

Efectivamente, cada uno de dichos elementos aportan una resistencia térmica, ya sea en mayor o menor medida. La diferencia entre un sistema constructivo con alta y baja transmitancia térmica puede ilustrarse en la siguiente figura 10, mostrada a continuación:



Figura 10: Ejemplificación de dos materiales con alta y baja transmitancia térmica respectivamente (Fuente: Blender, 2014)

Finalmente, para que un sistema sea considerado un buen aislante, debe tener un bajo índice de transferencia térmica (Blender, 2014)

2.2.3. Cambio climático

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. Antiguamente se definía al clima como el promedio de alguna variable, sin embargo, actualmente se define al clima como un estado cambiante de la atmosfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio (SENAMHI, 2018). Teniendo en cuenta ello, se define el cambio climático como cualquier cambio significativo en las medidas del clima que duren por un periodo de tiempo extendido (EPA, 2015). Cabe resaltar que este cambio puede incluir variaciones significativas en la temperatura, precipitación, patrones de viento, entre otros efectos, que ocurren durante varias décadas o más. A continuación, se explicará uno de los aspectos más relevantes del cambio climático en los últimos años: el calentamiento global.

En primera instancia, la tierra absorbe radiación proveniente del sol, principalmente en la superficie, y la redistribuye por circulaciones atmosféricas y oceánicas para intentar compensar los contrastes térmicos, principalmente del ecuador a los polos. Dicha energía es re-emitida al espacio para mantener, en el largo plazo, un balance energético en el planeta (Fernández y Martínez, 2004). Continuando con ello, la atmosfera está compuesta por diversos gases disueltos según sus diferentes capas. Algunos de estos gases se denominan gases invernaderos debido a que pueden absorber parte de este calor y lo retienen en la tierra. Como consecuencia de ello, estos gases mantienen la temperatura constante del planeta a largo plazo. En efecto, si estos gases no existieran, se estima que la tierra sería, en promedio, unos 33°C más fría (Gavin, 2010). Dicho proceso se le conoce como el producto natural del efecto invernadero.

Sin embargo, durante los últimos años, actividades humanas como principalmente la agricultura, la ganadería, el crecimiento de la industria, la producción y el uso de combustibles fósiles, han emitido en la atmosfera una excesiva concentración adicional de gases del efecto invernadero lo que ocasiona un aumento en la temperatura promedio de la tierra, dando como resultado un fenómeno comúnmente conocido como calentamiento global.

Sin embargo, es importantísimo recalcar que el cambio climático por el que está pasando el planeta en este momento tiene un efecto particular debido a que está siendo generado por la humanidad y a un ritmo sin precedentes. Algunas de las mayores evidencias de dicho cambio son, por ejemplo: la elevación del nivel del mar en 17 cm en el último ciclo, el deshielo de glaciares, la intensificación de eventos como tormentas y huracanes, la acidificación de los océanos (USGCRP, 2017) y el registro de un aumento de la temperatura media de +1,25 °C respecto a la era preindustrial en el año 2020, convirtiéndolo en el año más caluroso de la historia desde que se comenzaron los registros (Copernicus, 2021).

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, si bien aún no existe evidencia científica que demuestre que las heladas andinas se han intensificado en los últimos años, se estima que para el año 2030 en el Perú se registraría un incremento de la temperatura máxima de hasta 1,6 °C en promedio (0,53°C/década), y de hasta 1,4°C para la temperatura mínima (0,47 °C/década) (SENAMHI, 2009). El calentamiento global ha provocado que la diferencial de temperatura máxima y mínima a lo largo del día en las regiones altoandinas varíe significativamente, debido a que se presenta una alta temperatura durante el día y en la madrugada puede descender a grados bajo cero. Como resultado, el estrés térmico, que ya existía durante la noche, se duplica al tener que soportar también las altas temperaturas de una latitud tropical en aumento.

En conclusión, esto disminuye más aún la calidad de vida de los pobladores altoandinos. Sin embargo, este caos climático también podría convertirse en una oportunidad para aprovechar dicho aumento de intensidad solar y usarla como fuente de energía renovable. Es por ello, que la presente tesis planea enfocarse en ello como fuente de calor frente a las gélidas temperaturas de la noche.

2.3. Estado del arte

2.3.1. Energías renovables en el Perú

La energía renovable es aquella obtenida de fuentes naturales virtualmente inagotables debido a la enorme cantidad de energía que contienen o porque pueden regenerarse por medios naturales (SolarInter,2019). Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero, los cuales son los causantes del cambio climático, ni emisiones contaminantes. A manera de ejemplo, si se construye una planta de energía solar que produce 40,500 kWh al año, se estaría ahorrando 7.3 toneladas de dióxido de carbono al ya no producir esos watts en una planta de combustión de algún tipo de hidrocarburo (SolarInter,2019).

Además, en términos de costos, dichas energías no renovables tienen una tendencia volátil dependiendo de la realidad coyuntural. En efecto, la necesidad de importar combustibles fósiles produce una supeditación a la coyuntura económica y política del país proveedor, lo cual puede comprometer la seguridad del suministro energético. Por otro lado, aunque las instalaciones de energías renovables requieren de cierta inversión inicial para su comienzo, una vez que termina esta primera fase, pueden operar a un costo muy bajo, debido a que, en la mayoría de las tecnologías de energía limpia, el recurso es gratis y, como resultado de ello, los precios de las energías renovables pueden ser muy estables a lo largo del tiempo.

A continuación, se explicará la situación actual de las energías renovables en Perú. En primer lugar, Perú es un país que depende mayormente de la energía hidroeléctrica y el gas natural. Sin embargo, según el Ministerio de Ambiente y de acuerdo con cifras del Balance Nacional de Energía, en Perú se liberan alrededor de 2550 toneladas por hora de CO₂ debido al consumo de energía de combustibles fósiles (MINAM, 2019).

Desde el 2008, Estado Peruano emitió un Decreto Legislativo para promover la inversión para la generación de electricidad con fuentes de energía renovables no convencionales, denominado en este marco legal como “Recursos Energéticos Renovables - RER”, tales como la energía eólica, solar, geotérmica, mareomotriz, la biomasa y las pequeñas hidroeléctricas con una capacidad instalada de hasta 20 MW (OSINERGMIN, 2014)

Actualmente, la producción de energía eléctrica total ha presentado un crecimiento anual promedio 2009- 2019 de 6%. Las hidráulicas producen la mayoría de la energía eléctrica, con una participación de 57%. Esta participación se ha encontrado estable en el periodo 2009- 2019, siendo en promedio 55% (MINEM, 2020). A continuación, en la siguiente figura 11, se observa la producción del mercado eléctrico desde el 2009 hasta el 2019.

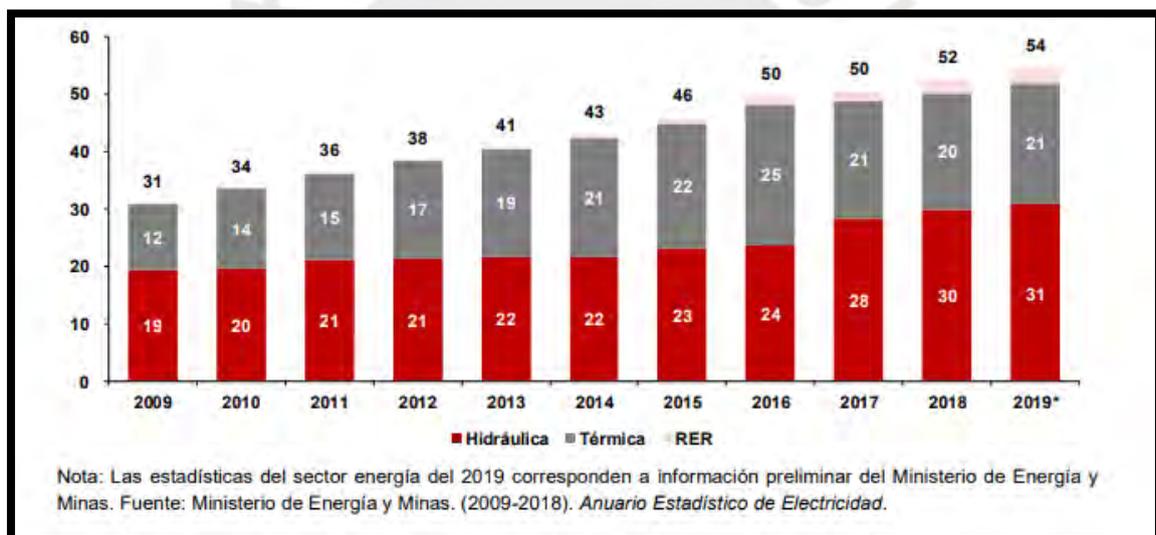


Figura 11: Producción del mercado eléctrico por tipo de tecnología (TWh) (Fuente: MINEM, 2020)

En el 2018, la producción RER no convencional alcanzó las 2,5 TWh, lo cual representa el 4,7% de la producción nacional del mercado eléctrico. Ello se acerca a la meta de 5% establecida en el DL N°1221 en el año 2008. Además, la participación solar es la que muestra el mayor crecimiento de los últimos años (MINEM, 2020). Debido a ello, según el ranking RECAI 2018 elaborado por EY, Perú se posiciona como el quinto país latinoamericano más atractivo para invertir en energías renovables (EY, 2019). En la siguiente figura 12 se puede apreciar la distribución RER en el año 2018:

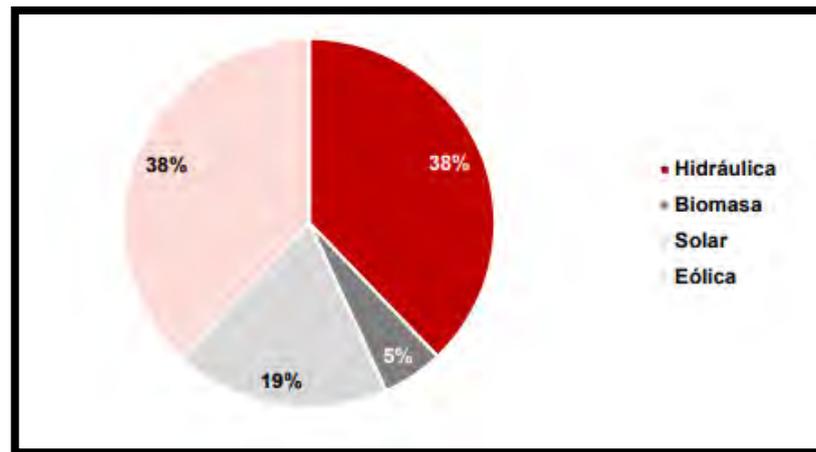


Figura 12: Distribución de la producción RER 2018 (Fuente: MINEM, 2020)

Efectivamente, el MINAM indicó que el Perú tiene un gran potencial para producir energía de fuentes renovables. Por ejemplo, las mejores zonas de recurso eólico son las Regiones de Lambayeque, 7.017 MW y Piura, 7.098 MW, que juntas acumulan más de 14.000 MW de potencia eléctrica instalable. Las velocidades promedio a 100 metros de altura en esas Regiones superan los 12 m/seg. Actualmente en el Perú existen 7 parques eólicos, instalados o en proceso de construcción, que en total suman una potencia instalada de 408 MW. Es decir, en el Perú apenas se aprovecha el 2% del total de recursos eólicos existentes (MOCICC, 2020). Por otro lado, el condicionante técnico y económico más importante para la instalación de sistemas solares termoeléctricos es disponer de una radiación solar directa anual, no inferior a 2000 kWh/m² y el sur del Perú cuenta con valores de radiación solar directa anual superiores a 3000 kWh, valores incluso superiores a los de Marruecos y Emiratos Árabes, países donde se encuentran las mayores plantas solares del mundo (MOCICC, 2020).

Debido a todo lo descrito anteriormente, las fuentes de energía deberían diversificarse, tomando como opción prioritaria a las energías renovables como por ejemplo la energía eólica, solar, biomasa y geotérmica, las cuales tienen un gran potencial a nivel nacional. Finalmente, la presente investigación utiliza a la energía solar, como fuente de calor del prototipo.

2.3.2. Vivienda bioclimática

Desde su concepción, la vivienda ha sido considerada como un ambiente de protección para sus habitantes frente a su ambiente exterior. En otras palabras, se procuraba el confort térmico humano interactuando enérgicamente con el clima exterior (Manzano et al., 2015). En los últimos años se ha impulsado la investigación e implementación de la vivienda bioclimática, la cual se basa en un diseño donde, a través de un correcto aprovechamiento de los recursos naturales disponibles y las condiciones climáticas del lugar, se genera una edificación con impactos ambientales considerablemente reducidos sin perjudicar el confort térmico humano (Sánchez-Montañez, 2014)

Sin embargo, desde la revolución industrial el concepto bioclimático ha sido relegado por otros métodos constructivos que generan una gran huella de carbono y necesitan un gran consumo de energía. No obstante, a partir de la década de 1980 y, debido al altísimo nivel de contaminación ambiental generado por las edificaciones, se produjo una necesidad de retornar a la vivienda bioclimática (Manzano et al., 2015). Por todo lo dicho anteriormente, la vivienda bioclimática actual busca 3 enfoques.

Primeramente, se tiene el objetivo de integrar a las fuentes de energía renovable para que todo el consumo sea por generación propia y no contamine a su exterior ni interior. Por otro lado, se debe asegurar el confort térmico y un adecuado nivel de iluminación interno para que sus moradores puedan realizar cualquier actividad sin inconvenientes. Finalmente, esta clase de viviendas esta muy asociada a la construcción ecológica, la cual hace referencia a procesos constructivos responsables con el medio ambiente y el uso de materiales no tóxicos respaldados por declaraciones ambientales (Conforme y Castro, 2020).

En conclusión, la Arquitectura Bioclimática es importante para ayudar a frenar los problemas ambientales que el ser humano ha ocasionado y para aprovechar los recursos renovables de la forma más óptima posible. Es por ello que esta investigación plantea una vivienda bioclimática como solución al problema, debido a que se plantea la optimización de los recursos para aumentar el confort térmico a las poblaciones afectadas.

2.3.3. Muro trombe

Debido a la gran crisis energética

En todo el mundo se ha desarrollado una severa crisis energética que ha convertido a las energías renovables es un asunto de vital importancia. En efecto, se ha encontrado en las edificaciones una gran oportunidad para el ahorro energético, principalmente en sistemas que procuren el confort térmico y alternativas al aire acondicionado (Chel et al., 2008). Una propuesta es integrar al diseño constructivo características solares pasivas para aprovechar la energía solar y, de esta manera, elevar la temperatura interna de la vivienda. Siguiendo con ello, una de las mejores opciones que cumplen con dichas características es el muro trombe. Para explicar este sistema, en la figura 13 mostrada a continuación se muestran sus componentes:



Figura 13: Componentes del muro trombe. (Valdivia, 2017)

Como se observa, la primera componente es una cubierta traslúcida la cual debe ser lo suficientemente transparente a la luz visible solar pero muy poco a la radiación infrarroja. A la vez, se cuenta con un espacio de aire entre dicha cubierta y una pared de la vivienda. Dicha pared puede estar pintada de negro para acelerar la absorción de los rayos solares y, de esta manera, calentar de forma más rápida el espacio. Otro aspecto importante de dicha pared es que debe poseer una gran inercia térmica y tener propiedades aislantes. Finalmente,

en dicho muro se incorporan unas ranuras de transferencia de calor para poder regular la temperatura al interior de la vivienda.

El funcionamiento de este sistema se explica de la siguiente forma: en primer lugar, los rayos solares atraviesan el vidrio o cobertura transparente y entran en el espacio de aire. Mientras que la radiación solar directa tiene una longitud de onda más corta y, por lo tanto, se conduce fácilmente a través del vidrio, el calor reemitido por la pared tiene una radiación de longitud de onda más larga, por lo que no puede atravesar el vidrio con tanta facilidad. Esto significa que el calor queda atrapado en el espacio de aire y la pared podrá absorberlos de una manera efectiva y liberarlos en el interior de la vivienda (Cao, 2020). Este último proceso dependerá de las aberturas que posee la pared y el movimiento por convección del aire encapsulado en dicho espacio. Asimismo, estas aberturas permitirán regular la temperatura en el interior de la casa, ya sea para calentar o enfriar la vivienda según el criterio del usuario (Grupo Alzado, 2017). Este sistema puede ilustrar en la figura 14 mostrada seguidamente:

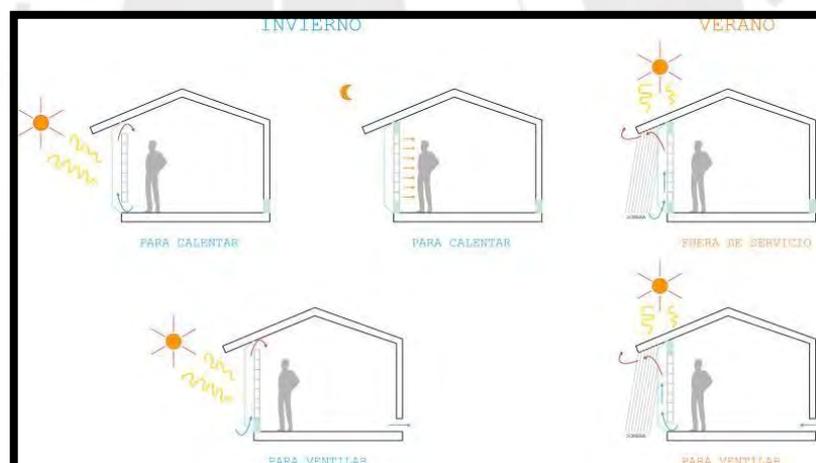


Figura 14: Funcionamiento Muro Trombe en verano (izq) e invierno (der).
(Fuente: Grupo Alzado, 2017)

En pocas palabras, este sistema se basa en los siguientes puntos: la gradiente en la densidad del aire y el correcto uso de su movimiento por convección para enfriar o calentar el lugar. Asimismo, para potenciar la eficiencia del muro se debe calcular la correcta orientación de los componentes del sistema, la cual será hacia el Sur o Norte dependiendo del hemisferio en donde se sitúe la vivienda (orientación sur en el hemisferio norte y orientación norte en el hemisferio sur). Debido a esto, se podrá potenciar la energía calorífica obtenida.

Es importante recalcar que a un muro trombe de 20 cm le toma entre 8 a 10 horas aproximadamente liberar el calor absorbido hacia el interior de la vivienda, por lo que este sistema puede absorber el calor de los rayos solares durante el día y liberarlos lentamente durante la noche, horas en las que es indispensable contar con un sistema de calefacción debido a los descensos de temperatura (Cao, 2020).

Finalmente, esta investigación utilizará un sistema calefactor en el techo similar al muro trombe en diversos aspectos por lo que entender su funcionamiento es relevante para su elaboración.

2.3.4. Clima en las zonas alto andinas del Perú

En primer lugar, Perú tiene un territorio muy particular debido a que posee 28 de los 32 climas que existen en todo el mundo. Para esta presente investigación se estudia a la zona alto andina, la cual se refiere a las regiones de la cordillera comprendidas entre los 3,500 y los 5,000 msnm y se denominan Suni y Puna según la clasificación de Pulgar Vidal. Estas zonas, a pesar del intenso frío que las caracteriza en sus madrugadas, son zonas tropicales debido a que sus características naturales y climáticas corresponden con las del clima 'frío inter-tropical de altura'. En efecto, las principales características que presenta este clima son una topografía ondulada y un relieve escarpado con extensas llanuras, conocido como Altiplano; una gran altitud; una cercanía a la Línea Ecuatorial y finalmente una lejanía del océano u otra masa de agua importante (Rodríguez-Larrain, Onnis y Neumann, 2016)

Este tipo de clima se caracteriza por poseer una acentuada verticalidad del movimiento aparente del sol, lo que genera una de las radiaciones solares más intensas del mundo cuando el cielo este despejado, como es en el caso de la temporada de invierno (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología- SENAMHI, 2003) y, paralelo a ello, la gran altitud en la que se sitúa es la que condiciona sus temperaturas extremadamente frías (Moncloa, 2017). Para ejemplificar ello, en la siguiente figura 15 mostrada a continuación se presenta un corte transversal del Perú:

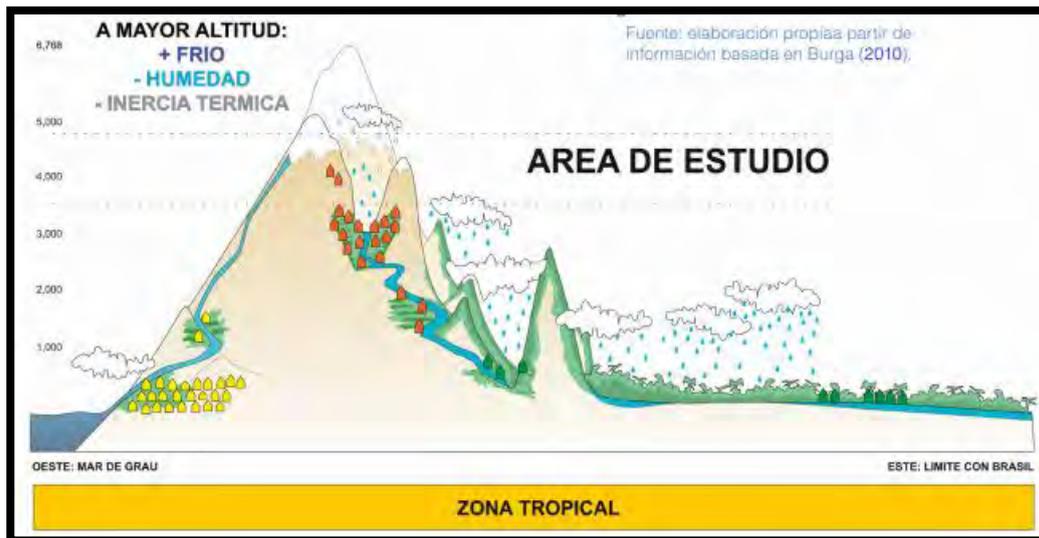


Figura 15: Corte transversal de Perú (Fuente: Moncloa,2017)

Normalmente en las épocas de lluvias las nubes impiden que el calor recolectado por la tierra durante el día escape y, por ende, que el suelo se enfríe rápidamente. En otras palabras, las nubes actúan como una barrera que retienen el calor durante la noche. Sin embargo, en la temporada de invierno el cielo está despejado y la radiación aumenta, calentando en mayor medida al suelo, pero al no tener nubes dicho calor escapa durante la noche y la temperatura baja a grados bajo cero, produciéndose el fenómeno de las heladas.

En síntesis, los inviernos en las zonas alto andinas se caracterizan por tener una potente radiación solar en el día y una temperatura extremadamente baja en la noche. Pese a esta crítica situación, estos factores pueden ser aprovechados para diseñar sistemas pasivos de climatización en las viviendas, los cuales podrían utilizar esa inmensa energía solar gratuita en forma de calor para conservarla y, de esta manera, aumentar el confort térmico de sus pobladores.

2.3.5. La quincha como material constructivo

La quincha es un sistema constructivo tradicional originario de Sudamérica y Panamá, el cual consiste fundamentalmente en un entramado de caña recubierto con barro y cuya principal variante contemporánea está compuesta por una estructura de madera y paneles de cerramiento. En la siguiente figura 16 se puede ilustrar un módulo de paneles de quincha con y sin recubrimiento de barro.



Figura 16: Paneles contemporáneos de quincha sin recubrimiento de barro (izq) y con el recubrimiento de barro (der) (Fuente: Cuadrado,2013)

En efecto, diversas culturas a lo largo del mundo, como por ejemplo la cultura chimú en Perú, han utilizado esta técnica como método constructivo de sus ciudadelas y otras expresiones de culturales. Es por ello que esta tecnología representa en muchos países una manifestación social que relacionaba a sus antiguas civilizaciones con la naturaleza, la historia cultural y que además satisfacía sus necesidades de poseer su vivienda propia.

Sin embargo, a través del tiempo el uso de la tierra y cañas se ha visto relegado a causa de su asociación con estados de pobreza e insalubridad. Esto ha llevado a que fuera reemplazado por materiales cada vez más manufacturados, como por ejemplo el hormigón y la mampostería de ladrillos cocidos.

Actualmente, la demanda de viviendas crece rápidamente, y no en todos los casos se puede tener acceso a una vivienda tradicional de hormigón y ladrillo. Esto genera un aumento del déficit habitacional que se incrementa año a año, lo cual convierte a la quincha en un sistema económicamente sostenible para poblaciones vulnerables (Cuitiño et al., 2015). Sin embargo, la quincha no solamente resulta como un sistema constructivo más económico, sino que posee otras ventajas frente a su competencia. Por ejemplo, La quincha es muy eficaz como material antisísmico debido a la elasticidad del entramado de caña, el cual absorbe las vibraciones evitando que se propaguen por el resto de la estructura. Además, su ligereza facilita su montaje, aminora las cargas sobre la edificación y en caso de colapso no provoca demasiados daños. Adicionalmente tiene un razonable aislamiento térmico debido a su mediana inercia térmica, cualidad que es proporcionada por el recubrimiento de barro (Vergara,2014).

En la actualidad, y a pesar de que su uso es cada vez más limitado, la quincha es vista con mucho interés por arquitectos y constructores en la medida de las evidentes ventajas ecológicas, económicas y constructivas que posee. Sin embargo, las investigaciones se han referido exclusivamente a los aspectos constructivos, estructurales y sismo-resistentes, evidenciándose la falta de estudios desde el punto de vista térmico.

Debido a ello, en el 2018 los arquitectos Martin Wieser, Silvia Onnis y Giuseppina Meli de la Pontificia Universidad Católica del Perú estudiaron acerca de la conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha. Dicho estudio buscaba identificar la transmitancia térmica, tanto de un panel de quincha típico, como de algunas variantes que pretenden mejorar su desempeño térmico, valorando los resultados frente a otras soluciones tradicionales y contemporáneas y frente a las exigencias de las normativas térmicas actuales (Wieser et al., 2018). Para ello, se compararon 4 paneles de quincha modificados con uno tradicional, cuya información se presenta en la siguiente tabla 2:

Tabla 2: Características de paneles de quincha (Fuente: Wieser et al., 2018).

Características de paneles de quincha					
Panel	Quincha típica	Panel A	Panel B	Panel C	Panel C
Características	Panel típico de quincha	Capa adicional de tierra alivianada con encofre perdido	Capa adicional de elementos prefabricados de tierra alivianada	Capa adicional de aislante natural (totora)	Capa adicional de aislante artificial (EPS)

Dichos paneles fueron construidos en el campus de la universidad con el fin de realizar un monitoreo y validarlos desde el punto de vista constructivo. Como resultado de dicha investigación se obtuvo la siguiente figura 17 mostrada a continuación:

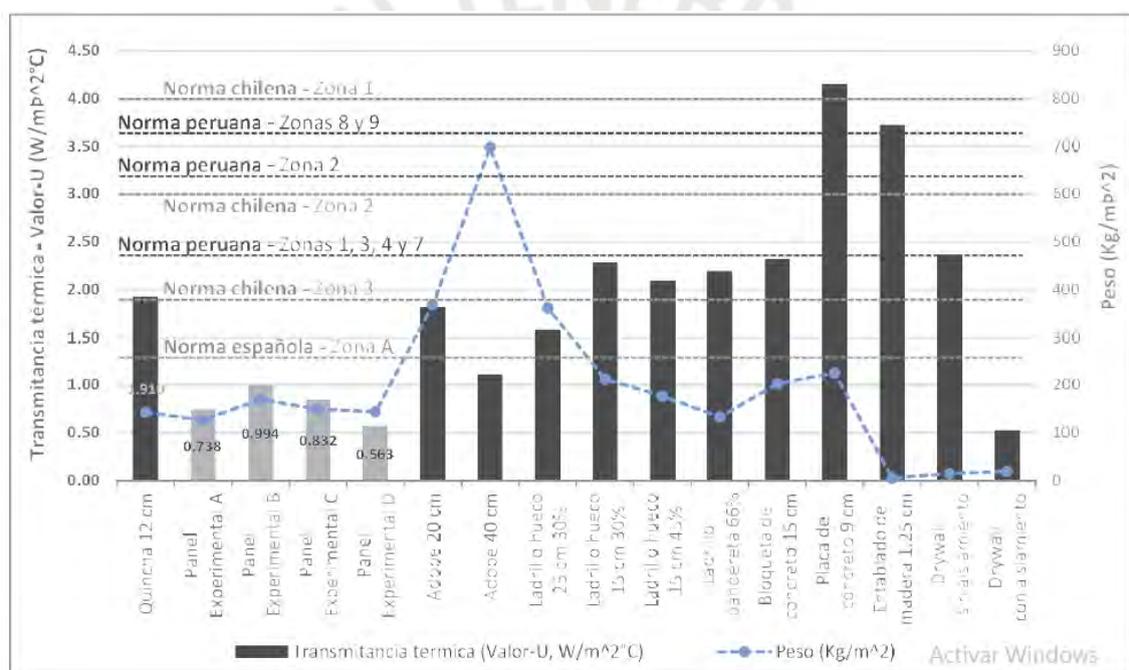


Figura 17: Transmitancia térmica de la quincha típica, de las propuestas de mejora y de otros componentes de muro frente algunas normas locales y regionales. Se superpone el peso de los componentes, que aporta una idea de la inercia térmica de los mismos (Fuente: Wieser et al., 2018).

Una de las conclusiones obtenidas fue confirmar que el muro tradicional de quincha posee prestaciones térmicas medianas. Sin embargo, se afirmó que aumentar el espesor en base a mezclas alivianadas de tierra, como por ejemplo el panel A o con la incorporación de capas adicionales de materiales, tanto naturales como artificiales, como los paneles B, C y D, mejoran significativamente dichas prestaciones, aumentando la capacidad de aislamiento, pero manteniendo valores similares de inercia térmica.

El resultado con dichas intervenciones presenta un componente bastante equilibrado en sus capacidades de aislar, acumular y retardar el paso del calor (Wieser et al., 2018).

Finalmente, gracias a esta investigación se puede concluir que el avance de la investigación posiciona a la quincha mejorada como un sistema efectivo en diversos aspectos, incluido también cuando se busca un sistema de brinde confort térmico a sus habitantes. Debido a ello, la presente investigación opta por utilizar un sistema constructivo a base de quincha debido a que es económicamente viable para los pobladores alto andinos, es de fácil acceso en la zona, tiene propiedades antisísmicas y, especialmente, porque brinda capacidades térmicas necesarias para mejorar el confort térmico.



3. CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

3.1. Variables bioclimáticas

A continuación, se presentan las variables bioclimáticas que permitirán determinar la eficiencia de la vivienda bioclimática. Cabe resaltar que, para ello, se realizó un análisis térmico, de intensidad lumínica y de ventilación.

Para el análisis térmico se utilizaron las siguientes variables:

- T: temperatura expresada en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- T interior: temperatura medida en el interior de la vivienda en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- T exterior: temperatura medida en el exterior de la vivienda en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- T apertura: es la primera temperatura medida ya sea a lo largo del día o en el primer día de las mediciones y está expresado en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- T cierre: es la última temperatura medida ya sea a lo largo del día o en el último día de las mediciones y está expresado en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- T máxima: es la máxima temperatura medida ya sea a lo largo del día o durante el periodo de las mediciones y está expresado en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- T mínima: es la mínima temperatura medida ya sea a lo largo del día o durante el periodo de las mediciones y está expresado en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- T Prom: Temperatura promedio ya sea de las temperaturas internas o externas y está medida en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
- ΔT : Diferencial térmica. Es la diferencia entre la temperatura interior y exterior de la vivienda en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)

- ΔT Prom: Es el promedio de las diferenciales térmicas entre la temperatura interior y exterior de la vivienda durante un periodo específico de días y está expresado en grados centígrados ($^{\circ}C$)

Para el análisis de intensidad lumínica se utilizaron las siguientes variables:

- I: Nivel de iluminación expresado en lux (lx)
- I interna: Nivel de iluminación medido en el interior de la vivienda en lux (lx)
- I externa: Nivel de iluminación medido en el exterior de la vivienda en lux (lx)
- I apertura: es el primer nivel de iluminación medido ya sea a lo largo del día o en el primer día de las mediciones y está expresado en lux (lx)
- I cierre: es el último nivel de iluminación medido ya sea a lo largo del día o en el último día de las mediciones y está expresado en lux (lx)
- I máximo: es el máximo nivel de iluminación medido ya sea a lo largo del día o durante el periodo de las mediciones y está expresado en lux (lx)
- I mínimo: es el mínimo nivel de iluminación medido ya sea a lo largo del día o durante el periodo de las mediciones y está expresado en lux (lx)
- I Prom: Nivel de iluminación promedio ya sea de los niveles de iluminación internos o externos del prototipo y esta medido en lux (lx)
- ΔI : Diferencial lumínica. Es la diferencia entre el nivel de iluminación interior y el exterior de la vivienda en lux (lx).
- ΔI Prom: Es el promedio de las diferenciales de iluminación entre la iluminación interior y exterior de la vivienda durante un periodo específico de días y está expresado en lux (lx).

Para el de ventilación se utilizaron las siguientes variables:

- V: ventilación expresada en metros por segundo (m/s)
- V interna: ventilación medida en el interior de la vivienda en metros por

segundo (m/s)

- V externa: ventilación medida en el exterior de la vivienda en metros por segundo (m/s)
- V apertura: es la primera ventilación medida ya sea a lo largo del día o en el primer día de las mediciones y está expresado en metros por segundo (m/s)
- V cierre: es la última ventilación medida ya sea a lo largo del día o en el último día de las mediciones y está expresado en metros por segundo (m/s)
- V máxima: es la máxima ventilación medida ya sea a lo largo del día o durante el periodo de las mediciones y está expresado en metros por segundo (m/s)
- V mínima: es la mínima ventilación medida ya sea a lo largo del día o durante el periodo de las mediciones y está expresado en metros por segundo (m/s)
- V Prom: ventilación promedio ya sea de las ventilaciones internas o externas y está medida en metros por segundo (m/s)
- ΔV : Diferencial de ventilación. Es la diferencia entre la ventilación interior y exterior de la vivienda medida en metros por segundo (m/s)
- V Prom: Es el promedio de las diferenciales de ventilación entre la ventilación interior y exterior de la vivienda durante un periodo específico de días y está expresado en metros por segundo (m/s)

3.2. Diseño metodológico

En la presente investigación se planteó realizar un piloto de vivienda bioclimática con un sistema dividido en dos partes. La primera parte consistía en un sistema estructural a base de carrizo, un tipo de caña muy común en múltiples zonas alto andinas. La segunda parte consistía en un techo térmico fabricado con botellas de plástico recicladas y un grado de inclinación " α ". A continuación, se explicará a manera de resumen el procedimiento para la construcción y evaluación del piloto y en los capítulos posteriores se explicará a detalle cada punto.

Primeramente, se analizó la caída de los rayos solares de la región geográfica donde se construiría el prototipo, el cual fue la ciudad de Lima. Seguidamente, se calculó el ángulo α para el cual los rayos solares caerían de forma perpendicular a la inclinación del techo entre las 12:00 pm y 2:00 pm. De esta manera, se aprovecharía de una forma más eficiente la caída de dichos rayos. En base a dicho ángulo α hallado, se planteó el modelo del casco de la vivienda según las especificaciones del libro "Buena Tierra: Apuntes para el diseño y construcción con quincha" del ingeniero Urbano Tejada. Cabe resaltar que se consideraron techos inclinados debido a que las regiones alto andinas se caracterizan por tener una gran precipitación durante los meses de diciembre a abril y, debido a ello, sus viviendas deben estar preparadas para soportar dichas precipitaciones. Finalmente, una vez concluida la construcción del casco, se procedió al vaciado con barro y paja.

Con respecto al techo, se utilizó un sistema de parrillas de botellas de plástico recicladas. El fin de dicho sistema es que la luz solar penetre cada botella para que el aire encapsulado dentro de ellas pueda calentarse y se genere un fenómeno similar al efecto invernadero en cada una. De esta manera, el interior de la vivienda se podrá calentar a través del calor encapsulado de cada botella.

Finalmente, una vez terminado de construir el prototipo, se procedió a realizar las mediciones con sensores térmicos, lumínicos y de ventilación. Cabe resaltar que para este caso se optó por utilizar termistores debido a su comodidad y fácil uso. Por último, dichos sensores se colocaron tanto al interior como al exterior del piloto con el fin de analizar la eficiencia térmica del mismo.

3.3. Obtención de datos y procesamiento

Con el fin de analizar la efectividad del sistema planteado, se realizaron mediciones diarias en el interior y exterior de la vivienda para obtener los valores internos y externos de la temperatura, intensidad lumínica y ventilación. A partir de ello, se pudieron obtener los valores promedios y las diferenciales respectivas, los cuales aportaron al análisis de la efectividad del piloto.

Una característica importante de dicho proceso es que se realizaron en tres turnos diferentes a lo largo del día, los cuales fueron divididos entre horas de la mañana y tarde: la primera medición era a las 8 de mañana, la segunda al medio día y la última a las 6 de la tarde. A la vez, cuando se realizaban dichas mediciones en cada horario, cada medición se registraba cuatro veces con un intervalo de 5 minutos de diferencia entre cada registro. Esto quiere decir que, para el caso del análisis térmico, por ejemplo, se tomaron 12 registros de temperatura entre los tres horarios del día, tanto en el interior como el exterior del piloto, generando un total de 24 mediciones diarias por parámetro.

Para poder realizar las mediciones externas al piloto, se seleccionó una ubicación frente a una de las ventanas de la vivienda, la cual se puede ilustrar con puntos rojos en la siguiente figura 18-A. De la misma forma, para realizar las mediciones internas se seleccionó una ubicación equidistante a todos los lados internos de la casa, la cual se representa mediante puntos rojos en la siguiente figura 18-B mostrada a continuación:



Figura 18-A: Registro de temperaturas externas



Figura 18-B: Registro de temperaturas internas

Figura 18: Metodología para la toma de data en el piloto. (Fuente propia)

Dichas mediciones se registraron en la tabla 3 mostrada seguidamente:

Tabla 3: Formato para toma de datos. Fuente propia

17- Nov	Temperatura				Intensidad Lumínica				Flujo de aire																			
	Adentro de la casa		Afuera de la casa		Adentro de la casa		Afuera de la casa		Adentro de la casa		Afuera de la casa																	
Hora	1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta	1era	2da	3era	4ta				
8:00																												
12:00																												
18:00																												



A manera de ejemplo, se mostrarán las mediciones realizadas de temperatura correspondientes al día 17 de noviembre, ilustradas en la próxima tabla 4:

Tabla 4: Cuadro de datos de temperatura correspondientes al 17 de noviembre (Fuente propia)

Temperatura										
17-Nov	Adentro de la casa					Afuera de la casa				
Hora	1era	2da	3era	4ta	Promedio	1era	2da	3era	4ta	Promedio
8:00	23.2	23.4	23.6	23.8	23.5	21.3	21.5	21.7	21.8	21.6
12:00	30.1	30.5	30.8	31.1	30.6	27.9	28	28.1	28.3	28.1
18:00	25.1	25.2	25.3	24.8	25.1	24.1	24	24.1	24.2	24.1

Como se aprecia en la tabla anterior, se tomaron 4 mediciones de cada parámetro, en este caso de la temperatura, en 3 horarios a lo largo del día tanto para el interior como el exterior del piloto. Además, para cada horario se calculó la temperatura promedio correspondiente a las 4 medidas. De la misma forma, para cada día se realizó un cuadro de diferencias donde se aprecia la variación del interior respecto al exterior de la vivienda en cada medición y, finalmente, la variación promedio. Dicho procedimiento se representa en la tabla 5:

Tabla 5: Cuadro de diferencias de temperatura correspondientes al 17 de noviembre (Fuente propia)

Diferencias				
$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 4$	Prom
-1.9	-1.9	-1.9	-2	-1.925
-2.2	-2.5	-2.7	-2.8	-2.55
-1	-1.2	-1.2	-0.6	-1

Para este caso, se observó que al medio día, el interior de la vivienda presentaba una temperatura de 30.6°C en promedio, mientras que el exterior de 28.1 °C en promedio. Esto quiere decir que, en dicho día, la variación de temperatura al medio día fue de 2.55 grados centígrados del interior con respecto del exterior, es decir, hay un aumento de temperatura dentro de la casa de 2.55 grados centígrados. De esta misma forma se determinó el promedio diario de cambio para cada horario para cada parámetro.

Este mismo procedimiento se realizó durante 115 días entre los meses de noviembre y abril, generando 2760 datos medidos de temperatura, intensidad lumínica y velocidad del viento cada uno. Debido a ello, para poder simplificar el análisis, se agruparon los datos por semanas de cada parámetro, trabajando con sus promedios respectivos y teniendo un total de 17 semanas a analizar.

A continuación, en la siguiente tabla 6 se puede observar el régimen térmico comparado de las primeras 3 semanas de medición, en donde se obtiene el promedio de la temperatura interna y externa para cada horario:

Tabla 6: Régimen térmico comparado (adentro y afuera) de la vivienda bioclimática. (Fuente propia)

Semana	Hora	Adentro de la casa				Prom dentro	Afuera de la casa				Prom afuera
1	8:00	23.7	23.9	24.0	24.3	24.0	21.6	21.6	21.8	21.9	21.7
	12:00	31.0	31.5	31.9	32.2	31.6	27.7	27.9	28.0	27.9	27.9
	18:00	23.8	24.0	24.1	24.3	24.0	22.5	22.6	22.6	22.8	22.6
2	8:00	24.7	25.0	25.5	26.1	25.3	21.6	21.7	22.1	22.4	21.9
	12:00	35.9	36.7	37.4	38.0	37.0	30.8	31.1	31.3	31.3	31.1
	18:00	24.2	24.7	25.2	25.6	24.9	22.5	22.5	22.4	22.5	22.5
3	8:00	26.1	26.5	27.2	27.6	26.8	22.8	23.0	23.2	23.6	23.1
	12:00	35.9	36.9	37.9	38.6	37.3	30.7	31.0	31.2	31.5	31.1
	18:00	25.2	25.9	26.9	27.3	26.3	23.2	23.5	23.6	23.9	23.5

Finalmente, para cada semana se analizaron los valores iniciales, finales, máximos y mínimos cómo se muestra a continuación en la siguiente tabla 7:

Tabla 7: Análisis semanal de apertura, cierre, máximos y mínimos de tres semanas. (Fuente propia)

	Semana	S1	S2	S3
Adentro de la casa	Apertura	23.7	24.7	26.1
	Máximo	32.2	38.0	38.6
	Mínimo	23.7	24.2	25.2
	Cierre	24.3	25.6	27.3
Afuera de la casa	Apertura	24.2	25.6	22.5
	Máximo	37.9	38.6	31.5
	Mínimo	24.2	22.5	22.4
	Cierre	26.9	23.2	23.9

Esta información se registró en un sistema de data logger, el cual es un recolector de datos para elaborar análisis estadísticos. A la vez, se procedió a elaborar gráficos lineales y de velas japonesas para una mejor interpretación de los resultados. En efecto, este análisis permitió elaborar las primeras conclusiones sobre el funcionamiento de la vivienda bioclimática planteada y el análisis de su efectividad.



4. CAPITULO 4: ALCANCE DEL PROTOTIPO BIOCLIMÁTICO

4.1. Ubicación y tiempo:

4.1.1. Tiempo

El prototipo se desarrolló en 3 fases: planificación, construcción y toma de data. En la primera fase se diseñaron las especificaciones técnicas del modelo como por ejemplo la arquitectura, los materiales y los procesos constructivos. Esta primera fase tuvo que ser revisada por diversos especialistas y tuvo un periodo de duración de 53 días. La segunda fase fue el tiempo de la construcción de la vivienda, la cual se considera desde el acarreo de materiales hasta la colocación del techo bioclimático. Dicha fase tuvo un periodo de duración de 8 días. Por último, la fase final fue la medición de los parámetros a evaluar en el modelo y se realizó durante 115 días.



En síntesis, estas fueron las fases preliminares al procesamiento de la información que permitirán analizar el comportamiento bioclimático del prototipo.

4.1.2. Ubicación

El espacio donde se desarrolló el piloto fue cedido gracias a la Asociación de Desarrollo de Estudios e Investigación Civil, quienes obtuvieron el terreno gracias a un convenio con la Municipalidad de San Miguel. Su ubicación fue en la vía expresa de la costa verde, en el primer ingreso posterior a la bajada Bertolotto, como se muestra en la siguiente figura 19-A. A la vez, en la figura 19-B se puede apreciar una fotografía actualizada del mismo.



Figura 19-A: Ubicación en Google Earth del terreno. (Fuente: Google Earth)



Figura 19-B: Fotografía de la ubicación del piloto (Fuente propia)

Figura 19: Ubicación del proyecto. (Fuente propia)

4.2 Diseño del prototipo bioclimático

4.2.1. Ángulo de inclinación del techo

El ángulo de inclinación del techo era de gran importancia debido a que este definía el grado de efectividad con el que el techo aprovecharía los rayos solares y, de esta manera, se podría calentar a la vivienda. Debido a ello, fue importante considerar los siguientes factores para su cálculo: a) La latitud del lugar geográfico de la vivienda, b) la época del año donde se requiere mayor energía y c) horario en el que se puede aprovechar más la intensidad solar. Por todo lo dicho anteriormente, se tuvo que utilizar un programa que considere dichos factores y proporcione un ángulo preciso, por lo que se procedió a utilizar el programa Ecotect. El proceso para su obtención fue el siguiente: en primer lugar, se hallaron las coordenadas del lugar de investigación a través del programa google maps, como se aprecia en la figura 20-A. Posteriormente, en la figura 20-B, se aprecia cómo se ingresaron al programa los datos de las latitudes y la hora del meridiano de Greenwich de Perú (GMT/UTC - 05:00).

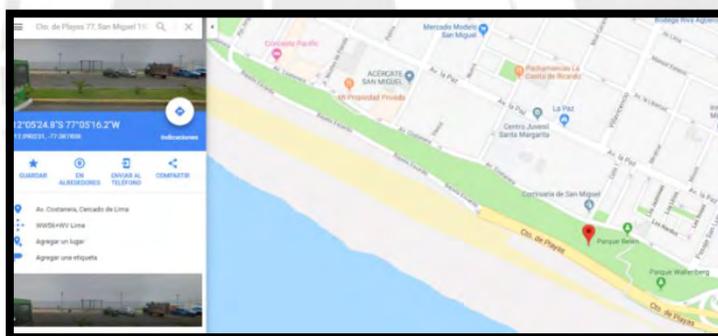


Fig. 20-A. Ubicación geográfica de la vivienda (Fuente: Google)

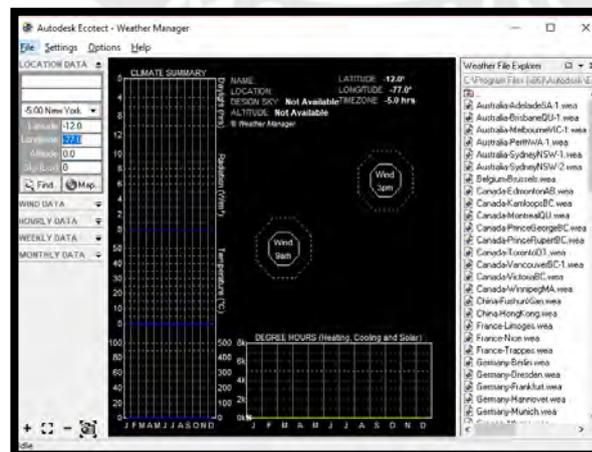


Fig. 20-B. Ingreso de datos de ubicación geográfica al Ecotect (Fuente propia)
Figura 20: Ubicación geográfica del proyecto y georreferenciación en Ecotect.

A continuación, se procedió a graficar al prototipo en el programa, como se muestra en la figura 21-A, donde se puede apreciar a la bóveda celeste y el recorrido del sol sobre el mismo. Asimismo, en este punto se pudo observar que, debido a localización de Perú, los rayos del sol impactan de forma casi perpendicular sobre el país en gran parte del día, mientras que en Europa es lo opuesto. Esto prueba por qué esta investigación se focaliza en el techo del prototipo como fuente de calor, yendo en contra del tradicional muro trombe, el cual se coloca perpendicular al suelo. Finalmente, en la vista lateral mostrada en la figura 21-B, se pudo conseguir el ángulo para el cual se tendría una mayor eficiencia de los rayos solares en el horario de 12:00pm a 2:00 pm, horario escogido al tener una mayor posibilidad de aprovechar los rayos solares. Dicho ángulo se obtuvo interceptando la proyección del sol con una línea vertical, obteniendo un valor correspondiente a $23^{\circ}17'$.

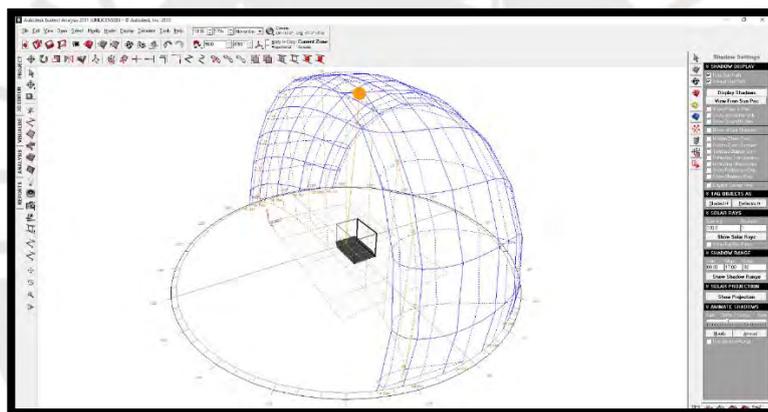


Figura 21-A: Elaboración del prototipo en el programa Ecotect (Fuente propia)

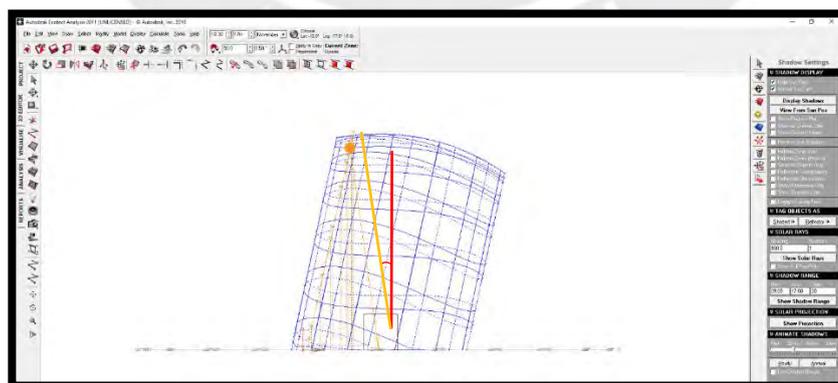


Figura 21-B: Obtención del ángulo del techo en el programa Ecotect (Fuente propia)

Figura 21: Modelamiento del prototipo en el software Ecotect.

4.2.2. Arquitectura

El prototipo a estudiar se diseñó en base a una vivienda rural típica empotrada al suelo y escalada a 1 en 4, con unas dimensiones finales de 1.2x1.8m. Adicional a ello, el modelo fue elaborado con paneles típicos de quincha y poseía dos ventanas y un techo inclinado. A continuación, se explicará cómo se diseñó cada una de dichas partes:

4.1.2.1. Diseño estructural de paneles y cimentaciones

Primeramente, para desarrollar las cimentaciones se debía empotrar la estructura al terreno. Para ello, se realizó un cimiento y un sobre cimiento de 20 cm de altura cada uno, quedando la estructura empotrada a unos 20 cm por debajo del nivel superficial y con un nivel de piso terminado de 20 cm sobre la superficie del terreno. Dichas cimentaciones tenían un espesor de 40 cm y recorrían todo el perímetro del prototipo. En la figura 22-A, se puede apreciar el diseño final de las cimentaciones. En segundo lugar, en cada una de las cuatro esquinas del prototipo se colocaron columnas fabricadas de madera, las cuales tenían medidas de 0.4x0.4m, como se puede apreciar en la figura 22-B:



Figura 22-A: Vista en planta de las cimentaciones prototipo.
(Fuente propia)

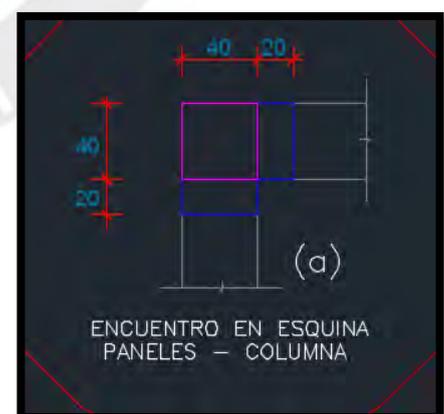


Figura 22-B: Detalle de columna típica.
(Fuente propia)

Figura 22: Detalle de cimentaciones y columnas del prototipo

En tercer lugar, el sistema constructivo del prototipo estaba constituido por paneles, es decir, bastidores de madera estructural aserrada. En este caso, el prototipo contaba con un total de 10 paneles, todos de 0.6m de ancho y 1.2m de altura, los cuales estaban divididos en dos tipos: 8 paneles típicos “PM-1” y 2 paneles con ventanas “PV1”. Por un lado, el panel típico PM-1, el cual se ilustra de color amarillo en la figura 22-A y se muestra a detalle en la figura 23-A, tenía una composición que involucraba las siguientes partes: 2 pies derechos, 1 solera superior, 1 solera inferior, 3 travesaños horizontales, y 4 semi diagonales. Por otro lado, el panel con ventana PV-1, el cual se ilustra de azul en la figura 22-A y se muestra a detalle en la figura 23-B, tenía la misma composición que un panel PM-1, pero difería en la distribución de sus partes, al contar con parantes adicionales para el orificio de las ventanas.

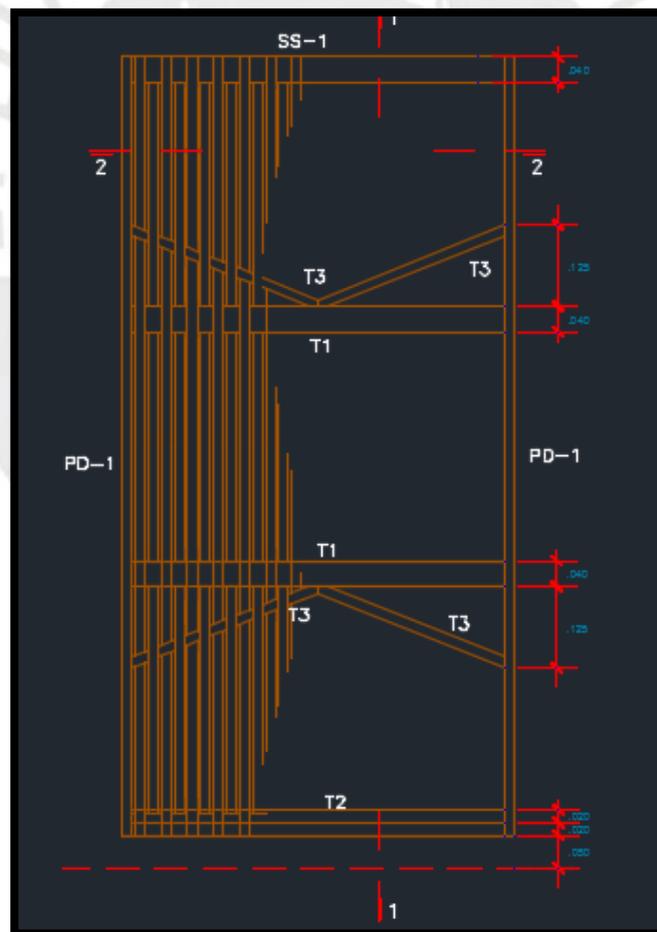


Figura 23-A: Vista frontal del Panel típico PM-1 (Fuente propia)

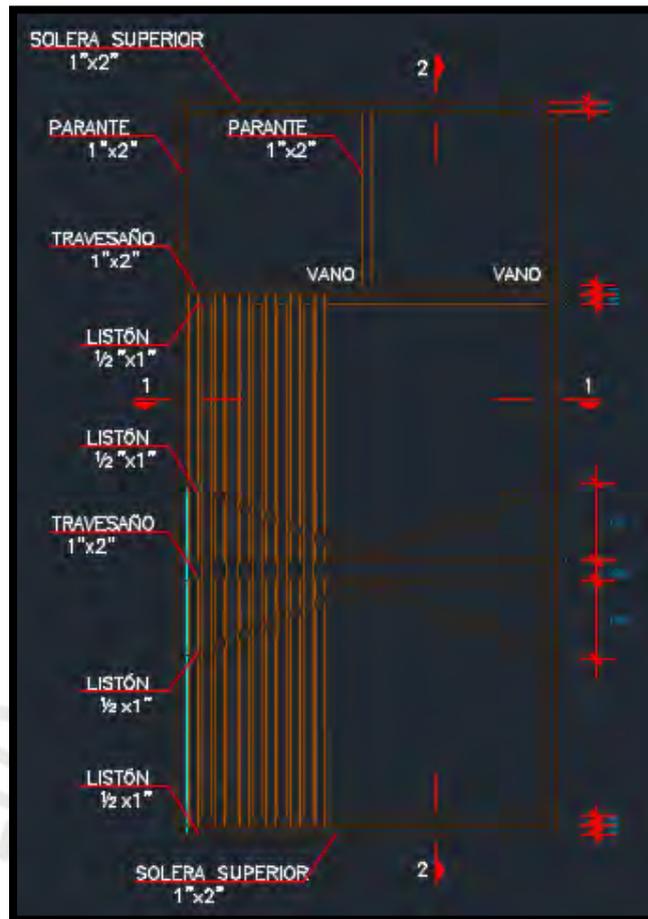


Figura 23-B: Vista frontal del panel típico con ventana PV-1. (Fuente propia)

Figura 23: Vista frontal de los paneles

4.2.2.2. Diseño de las ventanas

Para el diseño de vanos en la vivienda, se debía que asegurar que proporcione tanto un correcto flujo de ventilación, así como una adecuada intensidad lumínica al interior de la vivienda. Es por ello que se optó por que el prototipo tenga 2 ventanas, una frente a la otra. Cada una estaba conformada por dos vanos consecutivos separados por un parante de 1" y cada vano era un cuadrado de 27.8 cm de lado.

En primer lugar, dichas medidas fueron obtenidas a través del software ecotect y se consideró que era un tamaño adecuado según las condiciones bioclimáticas. A la vez, el programa también analizaba en qué caras laterales de la vivienda debían ir, ya sea en el lado mayor o en el menor. Dicho proceso se detallará a continuación, en donde se plantearon dos casos:

- Caso A: Ventanas ubicadas en dirección del eje menor del piloto, correspondiente a 1.2m, y orientado al sur
- Caso B: Ventanas ubicadas en dirección del eje mayor del piloto, correspondiente a 1.8m, y orientado al norte

Ambos casos se graficaron en el programa Ecotect para analizar sus consecuencias, como se aprecia en la figura 24:

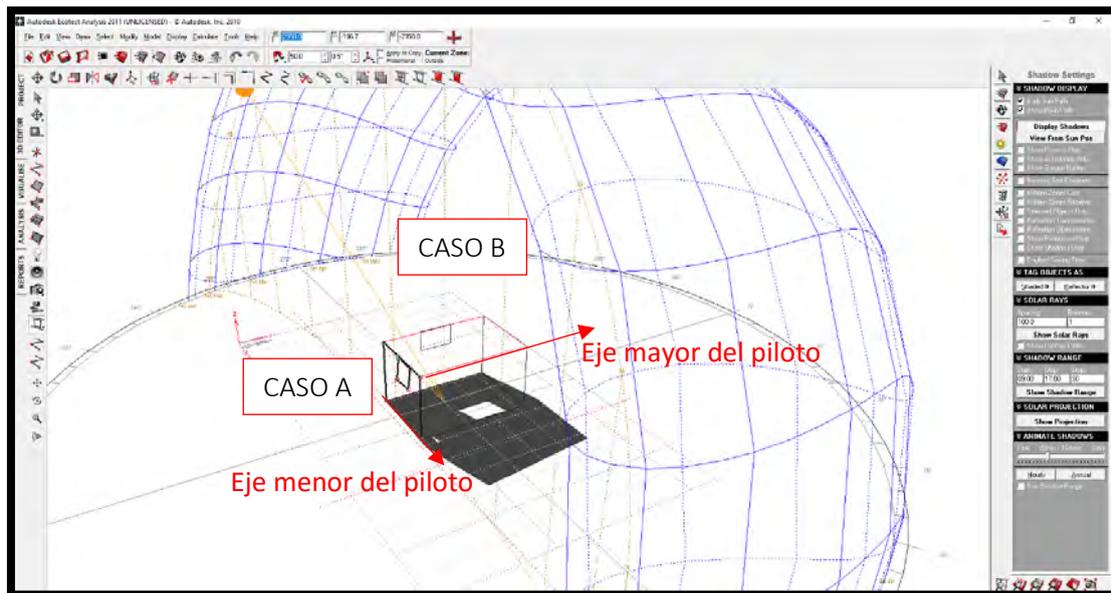


Figura 24: Planteamiento de casos A y B para la colocación de las ventanas en la vivienda en el programa Ecotect. (Fuente propia)

Como se aprecia en la figura, en el caso B se tenía una mayor posibilidad de aprovechar los rayos solares al observar cómo su ventana permite un mayor ingreso de luz al interior de la vivienda. Esto demuestra que, colocando las ventanas en el eje mayor del piloto, se obtendría una mejor iluminación interna. Además, el programa también permitió determinar que, colocando el vano en el panel central, se obtenía una mejor distribución de luz en el piloto. Por último, dicho tamaño también facilitaba la instalación entre el panel y los parantes.

4.2.2.3. Diseño del techo

El prototipo debía tener un techo inclinado para que pueda captar con mayor efectividad a los rayos solares y, a la vez, para que pueda funcionar correctamente frente a las precipitaciones. Por tal motivo, se eligió un diseño

basado en tijerales debido a que este permitía tener un ángulo de inclinación más preciso y brindaba la estabilidad necesaria para soportar al techo mismo. Para el diseño de los mismos y, según las dimensiones del piloto, se utilizó la tabla 8 mostrada a continuación:

Tabla 8: Diseño de tijeral tipo armadura. (Fuente: Tejada, 2017)



Coeficientes	Elementos	Fórmula general	Pendiente			
			1 / 2	5 / 12	1 / 3	1 / 4
CL	AB	$0.5 \sec \alpha$	0.559	0.542	0.527	0.521
	C	$0.5 \operatorname{tg} \alpha$	0.25	0.208	0.167	0.125
	D	$0.5 \sec \alpha$	0.559	0.542	0.527	0.521
	E	$1.0 \operatorname{tg} \alpha$	0.5	0.416	0.334	0.25
CP	FG	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	AD	$0.5 \operatorname{cosec} \alpha$	1.12	1.3	1.58	2.06
	BC	0	0	0	0	0
	E	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CQ o C1	FG	$-0.5 \operatorname{ctg} \alpha$	-1	-1.2	-1.5	-2
	BE	0	0	0	0	0
	C	-1	-1	-1	-1	-1
	AD	$0.5 \sec \alpha$	1.12	1.3	1.58	2.06
	AD	$-0.5 \operatorname{ctg} \alpha$	-1	-1.2	-1.5	-2

Con las dimensiones del piloto especificadas anteriormente y el ángulo de inclinación hallado, se pudo obtener las dimensiones finales de los tijerales. A la vez, para proporcionar estabilidad a la estructura, se colocó un tijeral entre cada panel, dando un total de 4 tijerales. Finalmente, en la figura 25, se puede apreciar el diseño final del techo:

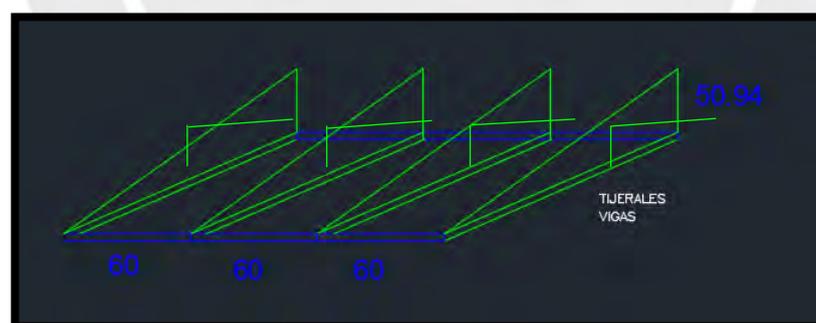


Figura 25: Diseño final de tijerales del prototipo. (Fuente propia)

4.2.2.4. Diseño final

Por último, se graficó el diseño final del piloto en el programa sketchup con el fin de obtener una mejor visualización del mismo y que pueda aportar en su construcción. Ello se puede apreciar en las siguientes figuras 26 A, B y C:



Figura 26 - A: Vista exterior 1 del piloto en Sketchup. (Fuente propia)



Figura 26 - B: Vista exterior 2 del piloto en Sketchup. (Fuente propia)



Figura 26 - C: Vista interior 1 del piloto en Sketchup (Fuente propia)

Figura 26: Vistas internas y externas del piloto en Sketchup. (Fuente propia)

4.3. Herramientas y materiales a utilizar

La construcción del piloto tuvo tres materiales principales. El primero fue la caña brava, debido a que es un material de fácil obtención para zonas alto andinas y no contamina al lugar geográfico. El segundo fue la madera, debido a que tiene una excelente rigidez y resistencia para poder sostener a la vivienda y asegurar su estabilidad. El tercer material fue la tierra debido a que se usa para el revestimiento de los paneles y, para su correcta colocación, esta debe cumplir con los siguientes requisitos: no debe ser orgánica, no debe contener salitre, no debe tener una excesiva cantidad de piedras en su composición, debe poseer una adecuada cantidad de arcilla para unir los granos de arena y, finalmente, debe contener suficiente arena para proporcionar resistencia. Finalmente, los materiales para la construcción del techo son las botellas de plástico recicladas, sacos de polipropileno color negro y rafia.

Por otro lado, las herramientas que se utilizaron para el proceso constructivo fueron: batea, cilindro, lata de agua, escuadra, regla, nivel, metro, pomada, cordel o pira, badilejo, frotacho, plancha, parihuela, comba, picota, cincel y palas

Por último, los instrumentos de medición que se utilizaron fueron tres: un termómetro, para medir las variaciones de temperatura, un Anemómetro, para medir la velocidad del viento y un Luxómetro, para medir la iluminancia.

4.4. Ensayos del suelo

Para conocer las características del terreno y determinar si el suelo era apto para ser utilizado para el recubrimiento de los paneles, se realizaron los siguientes ensayos en campo:

4.4.1 Prueba del enrollado:

El objetivo de esta prueba fue determinar si el suelo tenía las cantidades adecuadas de arcilla y arena. El primer paso fue elegir un pedazo aleatorio de suelo. Seguidamente, se preparó un rollo de barro con ayuda de las manos. Finalmente, se procedió a colocar al rollo en posición vertical para romperlo. Si al romperse el rollo se conseguía un tamaño de entre 5 a 15 cm, entonces el suelo era aceptable (Arriola y Tejada, 2008). Asimismo, para un mayor entendimiento de esta prueba, se puede apreciar en la siguiente figura 27-A una ilustración de la misma.

4.4.2 Prueba de la bolita:

El objetivo de esta prueba era determinar si se contaba con un suelo débil o resistente. Para ello, el primer paso era hacer 5 o 6 bolitas de aproximadamente 2 cm de diámetro con ayuda de las manos. Luego de ello, se dejaba que las bolitas sequen por un corto periodo de tiempo. Seguidamente, con la mano en forma de puño, se colocaba una bolita debajo del dedo pulgar. Finalmente, se intentaba romper cada bolita con el dedo pulgar y se repetía con las bolitas restantes hasta determinar un patrón. Si el patrón era que la bolita no se rompía, significaba que era un suelo apto y podía ser usado para el piloto (Arriola y Tejada, 2008). Finalmente, para una mayor comprensión de esta prueba, se muestra la figura 27-B una ilustración de la misma:

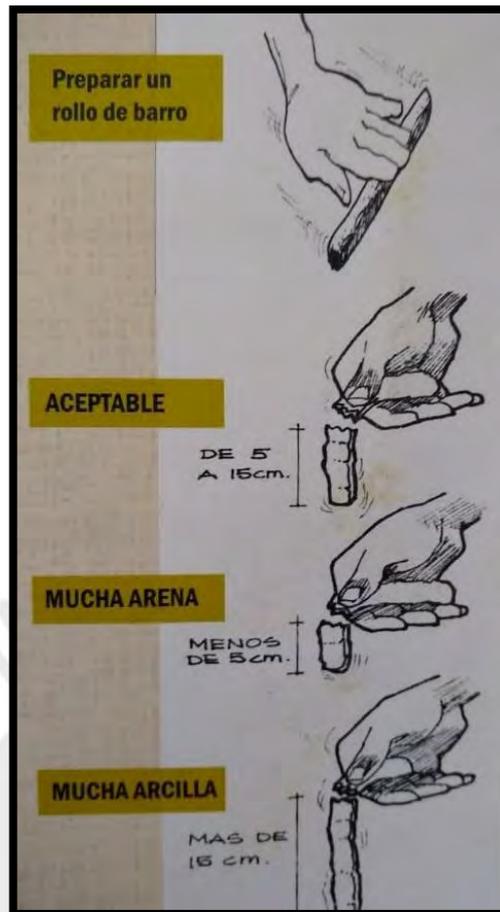


Figura: 27-A: Prueba del enrollado (Fuente: Arriola y Tejada, 2008)



Figura 27-B: Ilustración de la prueba de la bolita (Fuente: Arriola y Tejada, 2008)

Figura 27: Ensayos de suelo realizados.

Finalmente, el terreno con el que se contaba tuvo un resultado óptimo en ambas pruebas por lo que pudo utilizarse para la construcción del prototipo

4.5. Listado de partidas

4.5.1. Preparación del suelo

En primer lugar, se procedió con la designación de lugares específicos para el acarreo y colocación de los materiales. Ello se realizó con el fin de tener un área de trabajo más ordenada y dicho paso se puede ilustrar en la figura 28 mostrada a continuación:



Figura 28: Designación de lugares en obra. (Fuente propia)

Seguidamente, se procedió a limpiar del terreno. Como actividad precedente a la construcción, fue importante retirar la basura, materia orgánica, piedras u cualquier otro elemento extraño del espacio. A continuación, se realizó la nivelación del terreno para que éste sea una superficie plana y uniforme como se muestra en la figura 29:



Figura 29: Nivelación de terreno. (Fuente propia)

Una vez terminada la nivelación, se realizó el trazado del espacio a utilizar. En este paso, se delimitó el espacio de las cimentaciones para que se puedan realizar los trabajos de forma cómoda y sin interrumpir otros trabajos de los alrededores. En la figura 30, puede observarse cómo se realizó el trazado del mismo:



Figura 30: Trazado del terreno. (Fuente propia)

4.5.2. Cimentaciones

El primer paso para realizar las cimentaciones fue la preparación de los materiales a utilizar. Por ejemplo, para que las columnas puedan anclarse correctamente al terreno y a las cimentaciones, se pintaron las partes inferiores de las mismas con pintura vinil color negro, como se muestra en la figura 31:



Figura 31: Preparación de materiales. (Fuente propia)

Una vez que se terminada la preparación de los materiales, se procedió a armar la estructura de madera para el correcto vaciado de concreto del sobre cimient, como se muestra en la siguiente figura 32:



Figura 32. Colocación de madera. (Fuente propia)

Luego de ello, se continuó con la excavación manual del cimiento. Para este paso, se perforó el terreno con ayuda de palas según el trazado realizado anteriormente. Seguidamente, se vació la primera capa de concreto del cimiento y se anclaron las columnas al mismo. Dicho paso puede observarse en la siguiente figura 33:



Figura 33: Vaciado de concreto y colocación de columnas. (Fuente Propio)

Finalmente, se instaló la estructura de madera armada al terreno y se vació el concreto del sobre cimienta para luego dejarlo secar. Este último paso se puede ilustrar en la imagen 34 mostrada a continuación:



Figura 34: Vaciado de concreto. (Fuente propia)

4.5.3. Paneles típicos

El primer paso fue realizar un trabajo de carpintería para armar los bastidores de madera y los tijerales del techo según las especificaciones de los planos. En la siguiente figura 35 se muestra dicho trabajo realizado:



Figura 35: Trabajos de carpintería. (Fuente propia)

Luego de ello, se procedió a cortar las cañas en tamaños iguales para que puedan anclarse correctamente en las estructuras de madera. Posteriormente, se tejieron a los paneles alternando la ubicación y grosores de los extremos de las cañas hasta completar todo el ancho del panel. Posterior a ello, se recortaron dichos extremos para que los bordes de los paneles sean uniformes y de fácil anclaje. En la figura 36 se muestra un panel terminado:



Figura 36. Tejido de paneles con cañas. (Fuente propia)

Una vez terminados los paneles, estos se llevaron al terreno para proceder a ensamblarlos en la estructura de madera, como se muestra en las figuras 37:



Figura 37-A: Vista 1 de colocación de paneles y tijerales. (Fuente propia)



Figura 37-B: Vista 2 de colocación de paneles y tijerales. (Fuente propia)



Figura 37-C: Vista 3 de colocación de paneles y tijerales. (Fuente propia)

Figura 37: Vista de colocación de paneles y tijerales. (Fuente propia)

4.5.4. Vaciado con barro

En primer lugar, se dejó remojando la tierra en agua por un periodo de 2 a 3 días. De esta manera, se le da una mejor consistencia a la mezcla y se puede ilustrar en la figura 38 mostrada a continuación:



Figura 38: Preparación de la mezcla de barro. (Fuente propia)

Luego, se mezcló la tierra hidratada con paja y se comenzó el vaciado tanto por dentro como por fuera de la vivienda, tal como se muestra en la figura 39:



Figura 39. Vaciado de la mezcla en la estructura. (Fuente propia)

Una vez terminado el vaciado, se esperó por dos días hasta que este endurezca y se procedió a la instalación del techo. La imagen de la vivienda con el vaciado terminado se muestra en la figura 40:



Figura 40: Vaciado terminado. (Fuente propia)

4.5.5. Techo bioclimático

Para construir el techo bioclimático, primero se debió recolectar las botellas de plástico recicladas a las cuales se les cortó la base para similar a un tubo, dicho paso se ilustra en la figura 41 mostrada a continuación:



Figura 41. Preparación de botellas. (Moncloa, 2017)

Luego de ello, se interconectaron las botellas unas con otras utilizando rafia, de tal manera que se formaba una fila de botellas ensambladas, como se muestra en la siguiente figura 42:



Figura 42: Armado de filas de botellas. (Fuente propia)

Luego de ello, se procedió a unir seis filas de botellas, utilizando rafia nuevamente, para generar una parrilla de botellas de plástico. Seguidamente, estas se envolvieron en un saco de polipropileno color negro para poder atraer más intensamente el calor de los rayos solares, como se muestra en la siguiente figura 43:



Figura 43: Parrillas envueltas y no envueltas de polipropileno negro. (Fuente propia)

De igual manera, se realizó el mismo procedimiento para hacer pequeñas parrillas para las ventanas, utilizando solamente tres botellas unidas con rafia. Dicho procedimiento se ilustra en la figura 44:



Figura 44: Parrillas de ventanas. (Fuente propia)

Finalmente, se adosaron las parrillas de botellas al bastidor de madera del techo y a las ventanas. La vista final de la construcción se aprecia en la figura 45 mostrada a continuación:



Figura 45: Prototipo terminado. (Fuente propia)

4.6. Presupuesto

En la siguiente tabla 9, se muestra el presupuesto necesario para la elaboración del prototipo de la vivienda bioclimática. Como se aprecia, esta subdividido en tres partes: materiales, mano de obra y transporte. En cuanto a materiales, el más significativo en términos de costo fue la madera. Por otro lado, se aprecia que diversos materiales, tales como la caña brava, tierra y botellas, se obtuvieron mediante donaciones. Asimismo, la mano de obra es el ítem más significativo de todo el presupuesto, representando el 84% del mismo. Finalmente, el precio por metro cuadrado solo por los materiales fue 288.9 soles/m² y el precio final por metro cuadrado (incluido transporte y mano de obra) fue de 2001.8 soles/m².

Tabla 9: Presupuesto de obra. Fuente propia

Presupuesto vivienda piloto bioclimática						
ITEM	Descripción	UNIDAD	P.U. (S/.)	Cant	Precio final (S/.)	Comentarios
1	Materiales					
1.1	Caña brava	varilla			0	Se obtuvieron por donación
1.2	Tierra	kg			0	Se obtuvieron por donación
1.3	Madera	p2	47.9	11.42	547.018	
1.4	Cemento	bolsa	47	1	47	
1.5	Botellas de plástico	und			0	Se obtuvieron por donación
1.6	Saco de polipropileno	und	5	6	30	
2	Mano de Obra	m2	1675.93	2.16	3620.0088	
3	Transporte	glb	80	1	80	
TOTAL			1855.83		4324.0268	

5. CAPITULO 5: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

5.1. Comportamiento bioclimático

5.1.1. El régimen térmico

En estas dos primeras figuras mostradas a continuación se observa el comportamiento del régimen térmico durante las 17 semanas de estudio, tanto para el interior como el exterior de la vivienda. Como se aprecia, en ambos se muestran velas japonesas alcistas, es decir, las temperaturas de cierre son superiores a las temperaturas de apertura en todo el tiempo de evaluación. Esto significa que la temperatura se ha incrementado permanentemente entre el periodo de la mañana y la tarde.

Por otro lado, todas las velas tienen cuerpo corto, lo que significa que la temperatura de cierre está próxima a la de apertura. Esto indica que hubo muy poca variabilidad entre las temperaturas de las 8:00 y las 18:00 horas. Sin embargo, en todas las cajas se observa una gran diferencia entre la temperatura de cierre y la máxima alcanzada. Esta última es la temperatura correspondiente al medio día, en donde se absorbe mayor cantidad de rayos solares y, por ende, se puede obtener una mayor temperatura. En base a ello, se puede inferir que el prototipo no retiene gran parte del calor que adquiere durante el día, pues esta disminuye en el transcurso de la tarde.

Finalmente, la figura al exterior de la vivienda presenta una temperatura máxima de hasta 35,58°C, mientras que la del interior alcanza una temperatura de hasta los 44.65°C, lo que comprueba el aumento de temperatura del interior respecto al exterior.

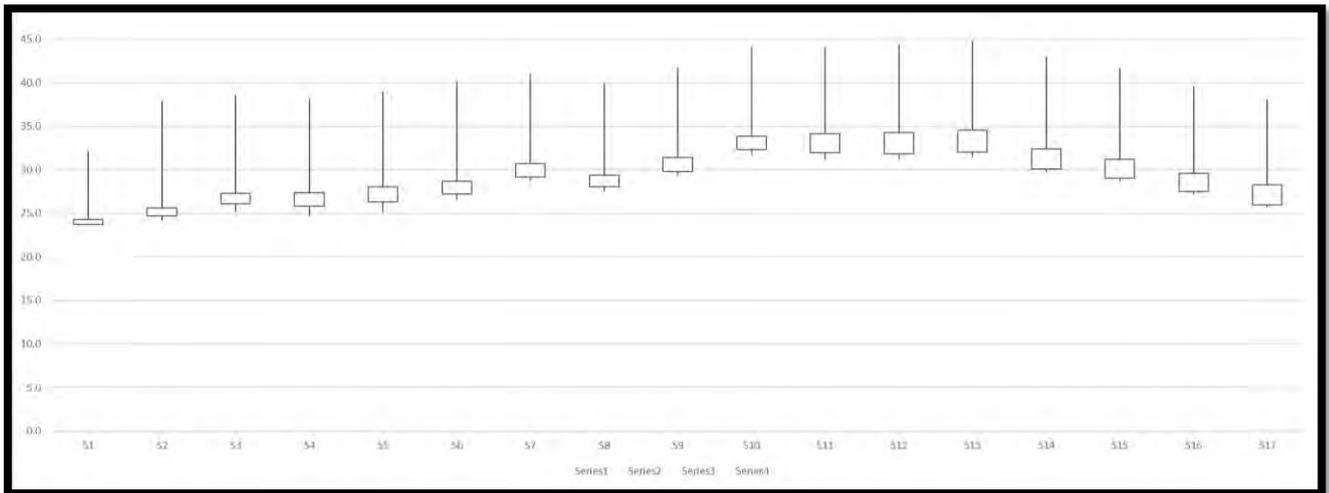


Figura 46: Comportamiento del régimen térmico interior por unidad de tiempo (semanas) en °C
 Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)
 Eje Y: temperatura en °C.

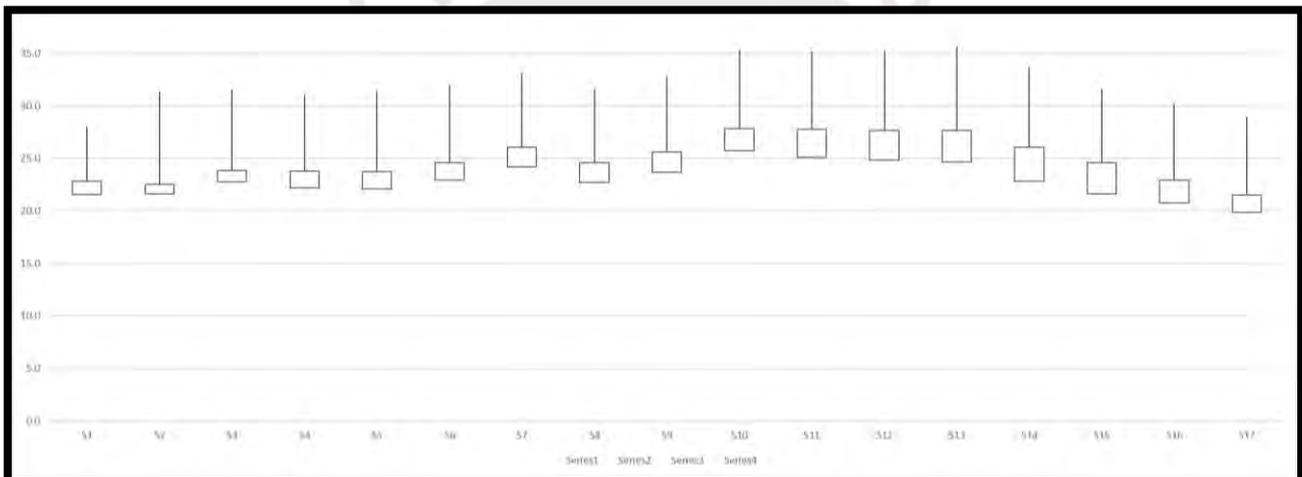


Figura 47: Comportamiento del régimen térmico externo por unidad de tiempo (semanas) en °C
 Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)
 Eje Y: temperatura en °C.

Asimismo, en la siguiente figura 48, también se aprecia el comportamiento del régimen térmico a lo largo del tiempo, pero se compara en el mismo gráfico el comportamiento interior versus exterior de la vivienda bioclimática. Se puede observar más claramente cómo ambas siguen una misma tendencia a lo largo del tiempo, la cual va de acuerdo a las temperaturas exteriores registradas con el inicio y fin del verano 2019. Asimismo, también se aprecia cómo el promedio de temperaturas al interior de la vivienda es superior a la del exterior. En promedio, la temperatura interna es 6°C mayor a la externa.

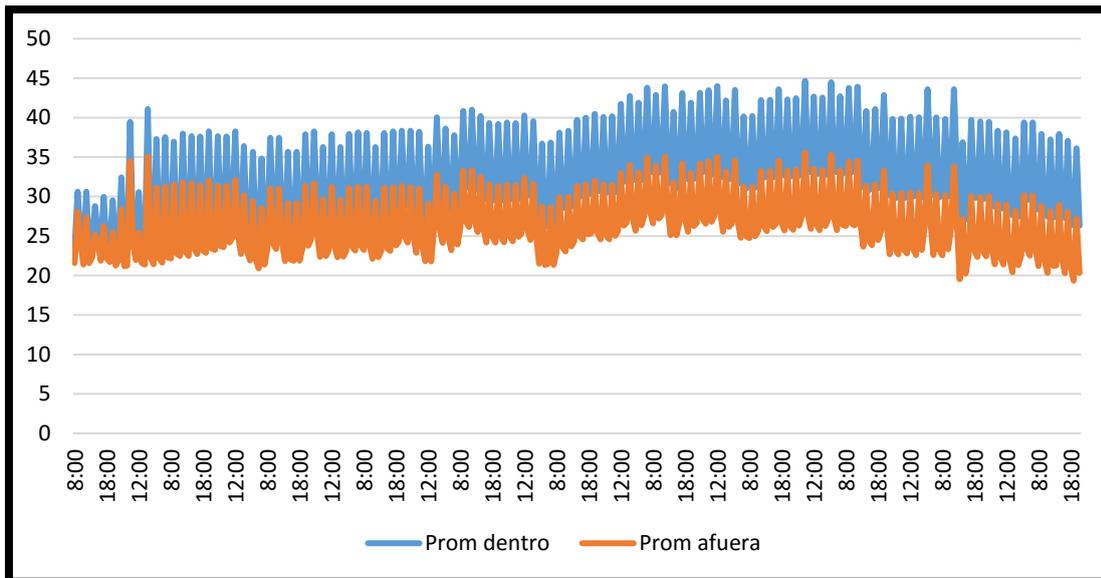


Figura 48: Comportamiento del régimen térmico comparado al interior y exterior de la vivienda bioclimática. (Fuente propia)

Eje X: horarios del tiempo de medición en días (días)

Eje Y: temperatura en °C.

En la siguiente figura 49 mostrada a continuación, se analiza la diferencial térmica del interior respecto al exterior a lo largo del día durante las 17 semanas de medición. En primer lugar, se muestran velas japonesas alcistas en los 3 horarios, mostrando que la diferencial térmica es mayor al final de las 17 semanas respecto al inicio. A la vez, la diferencial máxima se da a las 12:00 horas, con un valor de $6,23^{\circ}\text{C}$, mientras que la mínima se da a las 18:00, con un valor de 1°C .

Asimismo, se observa que las diferenciales térmicas de apertura coinciden con las diferenciales térmicas mínimas. Sin embargo, las diferenciales de cierre no coinciden con las diferenciales máximas, debido a que el mayor pico de temperatura y de diferenciales fue aproximadamente a la mitad del periodo de mediciones, coincidiendo con la época de verano, y no al final de dicho periodo.

Por otro lado, se aprecia que la vela que presenta el cuerpo más corto es la de las 18:00 horas, mientras que la vela de las 12:00 horas presenta el cuerpo más grande, lo que significa que la diferencial térmica de apertura está alejada de la diferencial térmica de cierre, demostrando que esta se ha ido incrementando a lo largo del tiempo.



Figura 49: Comportamiento de la diferencial térmica según horas del día. (Fuente propia)

Eje X: horarios del tiempo de medición
Eje Y: diferencial térmica en °C.

Finalmente, en la última gráfica 50 se observa el comportamiento de la diferencial térmica comparado de los 3 horarios a lo largo de los 113 días de medición. En primer lugar, se observa como la creciente de la diferencial térmica aumenta con el inicio del verano 2019, correspondiente a la fecha del 21 de diciembre. Esto quiere decir que, a mayor temperatura externa, la vivienda puede absorber más rayos solares. Siguiendo con esto, el pico máximo se encuentra a finales de febrero, coincidiendo con el día más caluroso del 2019. A la vez, también se comprueba lo opuesto debido a que, a partir de la quincena de marzo, fecha en la que comienza el otoño, se observa un decaimiento en las gráficas.

Por otro lado, se observa más claramente que las diferenciales térmicas correspondientes a las 12:00 horas son las más altas en gran contraste con las restantes, y las de las 18:00 horas son las más bajas. Dichos valores validan nuevamente que, si bien el prototipo puede almacenar rápidamente el calor logrando grandes diferenciales térmicas al medio día, este no se retiene en gran medida a lo largo del día, lo cual hubiera sido el escenario ideal pues es en la noche donde se necesita más de este calor almacenado.

Asimismo, se observa que existe una caída en el día 13, las cuales no van de acuerdo con la tendencia y podría tratarse de un error en la medición.

Una observación final es que, durante los primeros días del prototipo, las diferenciales térmicas eran muy bajas, lo que podría haber supuesto un mal diseño. Sin embargo, a medida que pasaban los días, la vivienda podía absorber cada vez más calor. Esto podría deberse a que el piloto estaba adaptándose a las propiedades externas de su entorno y a las suyas propiamente, pero según los análisis de las anteriores gráficas, podría también estar relacionado al nivel de nubosidad de los primeros días de medición, ya que, al tener menor radiación solar, menor es la temperatura registrada y las diferenciales térmicas.

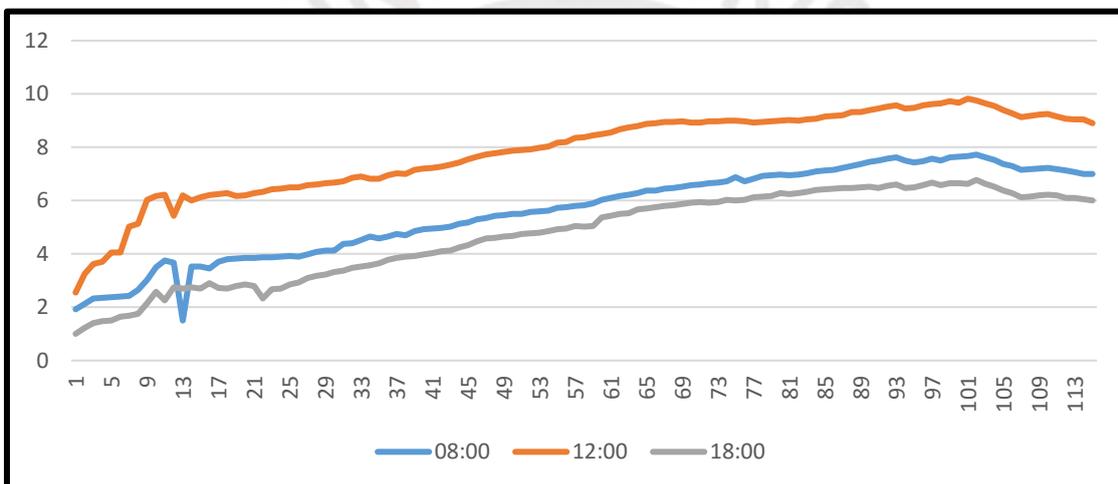


Figura 50: Comportamiento de la diferencial térmica promedio observada según el tiempo en días observados. (Fuente propia)

Eje X: Días de medición (días)
Eje Y: diferencial térmica en °C.

5.1.2. El régimen de la Intensidad Lumínica

En primer lugar, en las siguientes figuras 51 y 52 se muestra el comportamiento de la intensidad lumínica a lo largo del tiempo, tanto para el interior como el exterior del piloto. Como se aprecia, se muestran velas japonesas bajistas, es decir, la intensidad lumínica de cierre es inferior a la intensidad lumínica de apertura en las 17 semanas, lo cual solo verifica que la luz al acabar el día es menor que la que hay al iniciarlo.

Por otro lado, en las velas de la figura al exterior de la vivienda hay cuerpos de medianos a grandes, lo que significa que hay mucha variación entre las intensidades durante ese intervalo de tiempo, mientras que, en la figura al interior de la vivienda, los cuerpos son casi mínimos, mostrando una minúscula variación de intensidad lumínica a lo largo del día. Sin embargo, en todas las cajas se observa una gran diferencia entre el cierre y la intensidad máxima alcanzada. Esta última es la intensidad al medio día, donde se obtiene una mayor intensidad registrada debido a ser la hora con mayor impacto de rayos solares. En efecto, al exterior de la vivienda se presentan intensidades máximas de hasta 2271.6 lux, mientras que las del interior alcanzan hasta los 1361.7 lux, mostrando una clara diferencia entre ambas.

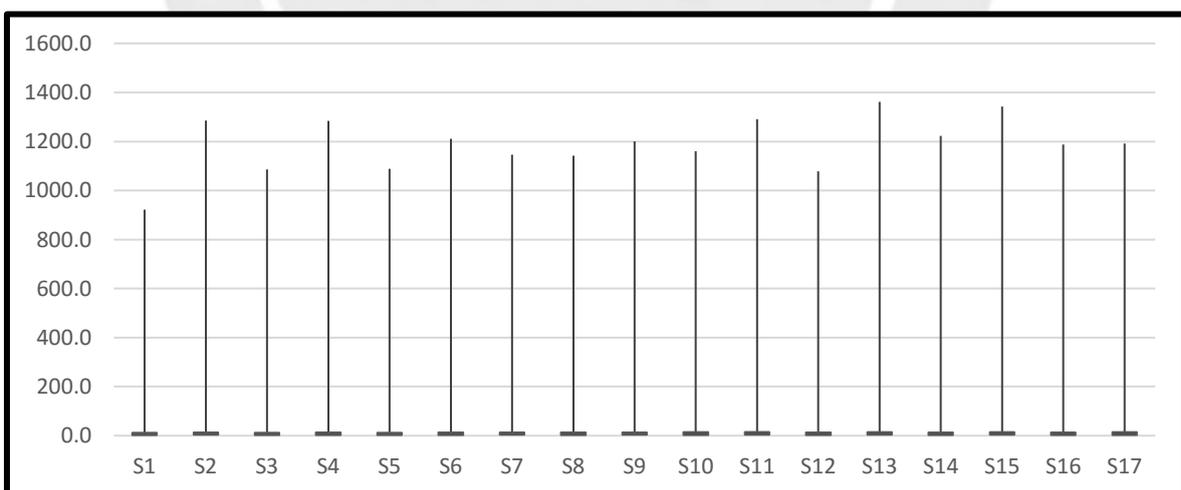


Figura 51: Comportamiento de la intensidad lumínica al interior de la vivienda por unidad de tiempo (semanas) en lux. (Fuente propia)
Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)
Eje Y: Intensidad lumínica en lux.

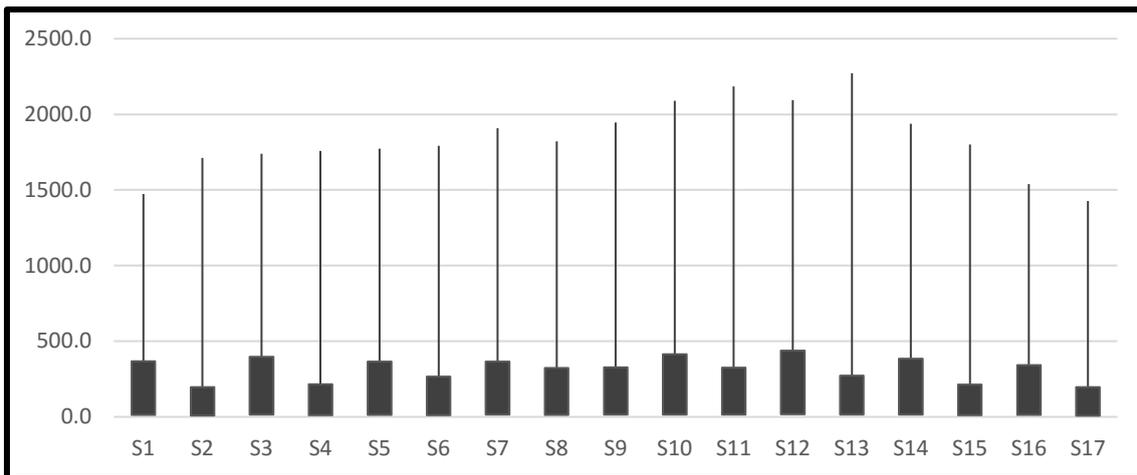


Figura 52: Comportamiento de la intensidad lumínica al exterior de la vivienda por unidad de tiempo (semanas) en lux. (Fuente propia)
 Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)
 Eje Y: Intensidad lumínica en lux.

Asimismo, en la siguiente figura 53, también se observa el comportamiento de la intensidad lumínica a lo largo del tiempo, pero se compara en un mismo gráfico el comportamiento interior versus el exterior del prototipo. En el gráfico se aprecia cómo la media de intensidad lumínica al exterior es significativamente superior a la del interior. En efecto la intensidad lumínica externa es, en promedio, 333 lux mayores a la interna.

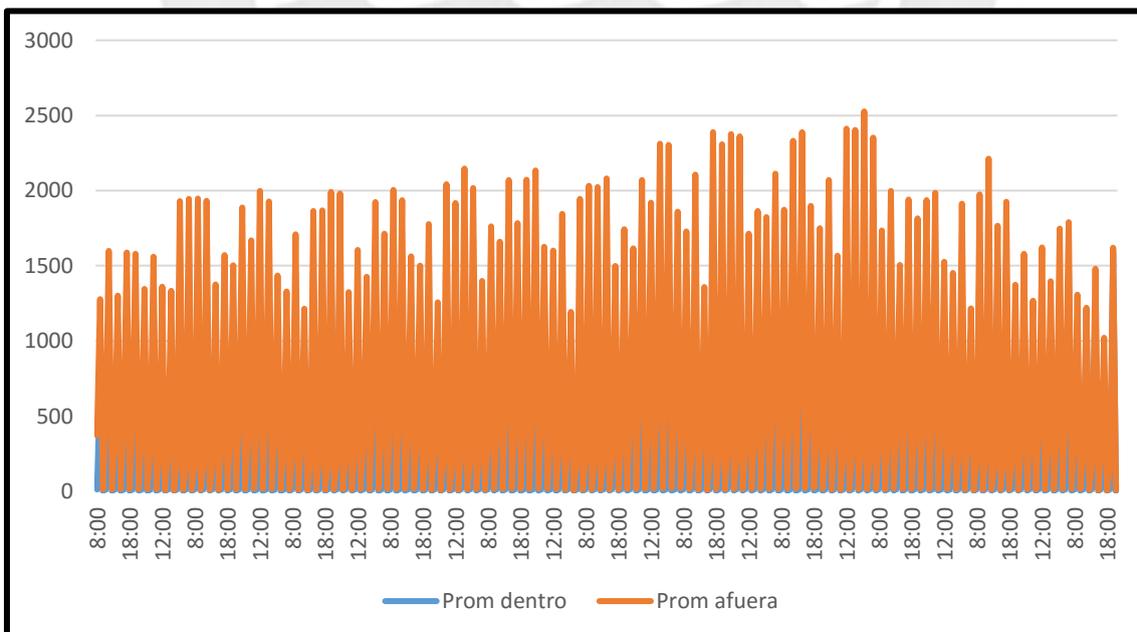


Figura 53: Comportamiento de la intensidad lumínica comparado al interior y exterior de la vivienda bioclimática. (Fuente propia)
 Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)
 Eje Y: Intensidad lumínica en lux.

En la próxima figura 54, se analiza el comportamiento de la diferencial lumínica del interior respecto del exterior a lo largo del día durante las 17 semanas de medición. Como se aprecia, se muestran velas japonesas bajistas en los 3 horarios, lo que quiere decir que las diferenciales eran menores al final de las 17 semanas con respecto al inicio.

Por otro lado, la vela que presenta el cuerpo más corto es la de las 18:00 horas, con una variación máxima de 17 lux, mientras que la vela de las 12:00 horas presenta un cuerpo grande, con una variación máxima de 566.25 lux. Esto significa que en la tarde la variación era casi nula mientras que al medio día la variación era significativa.

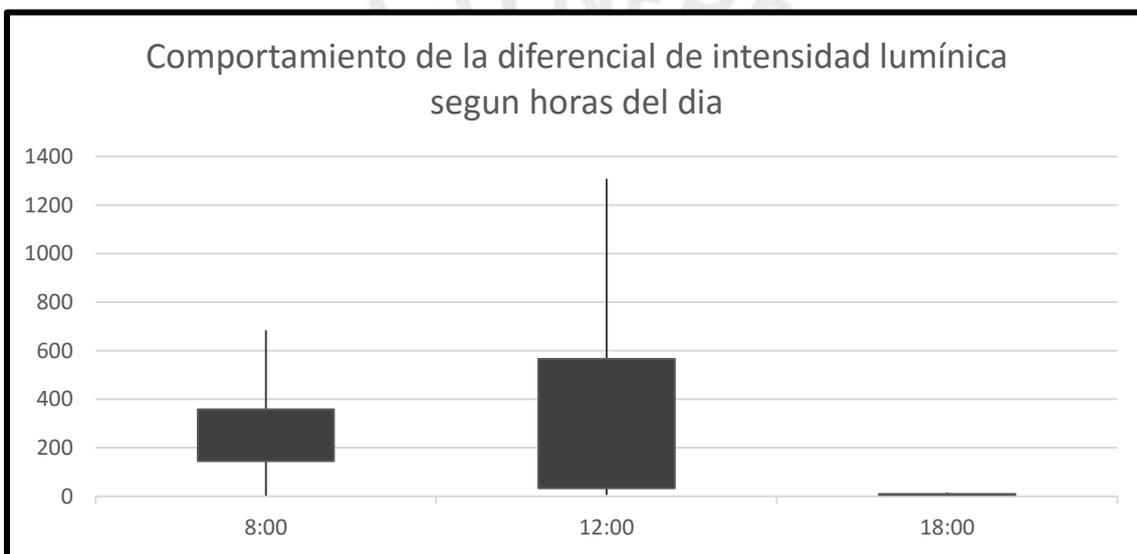


Figura 54: Comportamiento de la diferencial de intensidad lumínica según horas del día. (Fuente propia)

Eje X: horarios del tiempo de medición

Eje Y: diferencial lumínica en lux.

Finalmente, en la última gráfica mostrada seguidamente, la figura 55, se estudia el comportamiento de la diferencial lumínica comparado de los 3 horarios a lo largo de los 113 días de medición. En dicha figura se aprecia una tendencia de la variación lumínica en forma cíclica y podría deberse a que conforme aumentaba la intensidad de rayos solares, la vivienda podía absorberlos más eficientemente e iluminar el interior, logrando que los próximos días la diferencial pueda disminuir. Sin embargo, la figura 51 también muestra la baja intensidad lumínica del prototipo en las tardes durante los 113 días, por lo que no se puede asegurar el porqué de dicha tendencia.

Asimismo, el pico máximo de diferencial lumínica se encuentra a finales de febrero, coincidiendo con el día más caluroso del 2019, y, por otro lado, también se aprecia un decaimiento que coincide con la quincena de marzo, fecha donde se terminaba el verano y la intensidad de rayos solares disminuía.

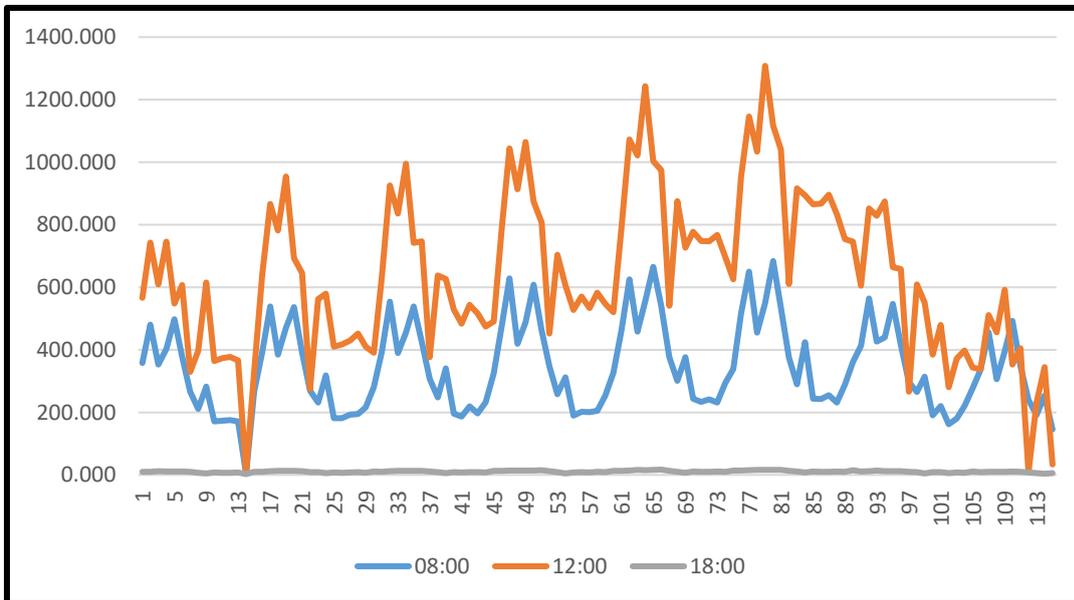


Figura 55: Comportamiento de la diferencial de intensidad lumínica promedio observada según el tiempo (días observados). (Fuente propia)

Eje X: días de medición (días)

Eje Y: diferencial lumínica en lux.

5.1.3. El régimen de Ventilación

Primeramente, se analizará el comportamiento del régimen de ventilación a lo largo del tiempo, tanto para el interior como el exterior de la vivienda. Dicho análisis se muestra en las figuras 56 y 57 mostradas seguidamente y, lo primero que se aprecia, es que se muestran en su gran mayoría velas japonesas alcistas para ambas figuras, es decir, la ventilación al final del día siempre es superior a la ventilación en la mañana durante las 17 semanas. Además, todas las velas exteriores tienen un cuerpo mediano relativamente similar. En contraste de esto, las velas interiores varían su tamaño a lo largo del tiempo.

Por otro lado, se observa que ambas figuras tienen una tendencia similar a lo largo de las semanas. Sin embargo, al exterior de la vivienda se presentan flujos máximos de hasta 1.1 m/s, mientras que en el interior se alcanzan hasta los 0.7 m/s, lo que comprueba un contraste de flujo del exterior respecto al interior.

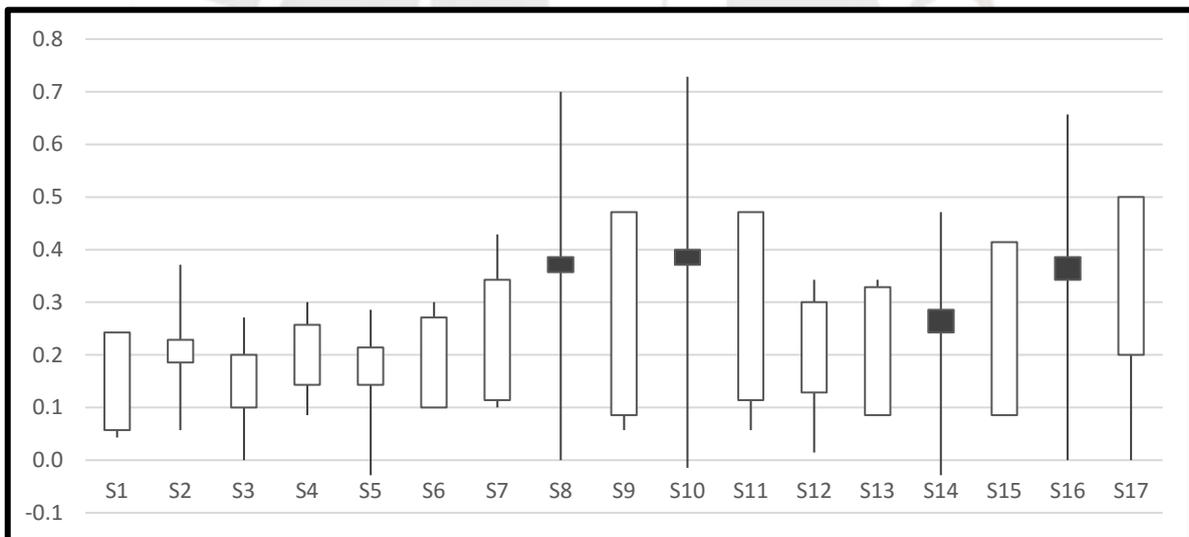


Figura 56: Comportamiento del régimen de ventilación al interior de la vivienda por unidad de tiempo (semanas) en m/s. (Fuente propia)
 Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)
 Eje Y: Ventilación en m/s.

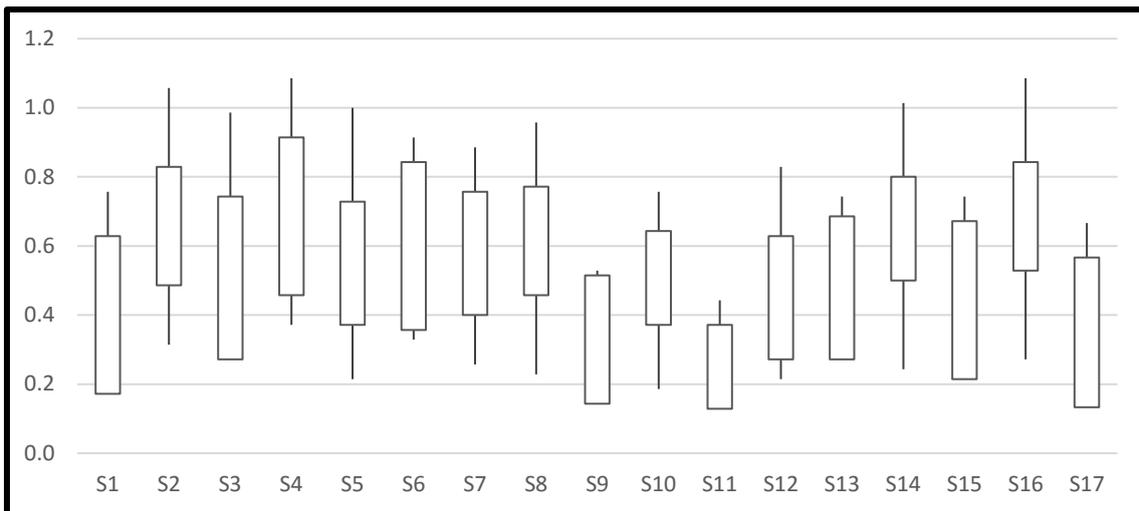


Figura 57: Comportamiento del régimen de ventilación al exterior de la vivienda por unidad de tiempo (semanas) en m/s. (Fuente propia)
 Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)
 Eje Y: Ventilación en m/s.

Asimismo, en la siguiente figura 58 también se estudia el comportamiento del régimen de ventilación a lo largo del tiempo, pero se compara en un mismo gráfico el comportamiento interno versus el externo del prototipo. En el gráfico se puede observar una tendencia en la que los flujos crecen en los últimos días de noviembre y comienzan a decrecer en la quincena de diciembre, coincidiendo con el inicio del verano 2019. Esto se puede explicar debido a que, en verano, el clima tiende a ser más seco y con menos flujo de aire. Por otro lado, hay una notoria diferencia entre los flujos de ventilación externos con respecto a los internos, especialmente al inicio y final de la toma de datos.

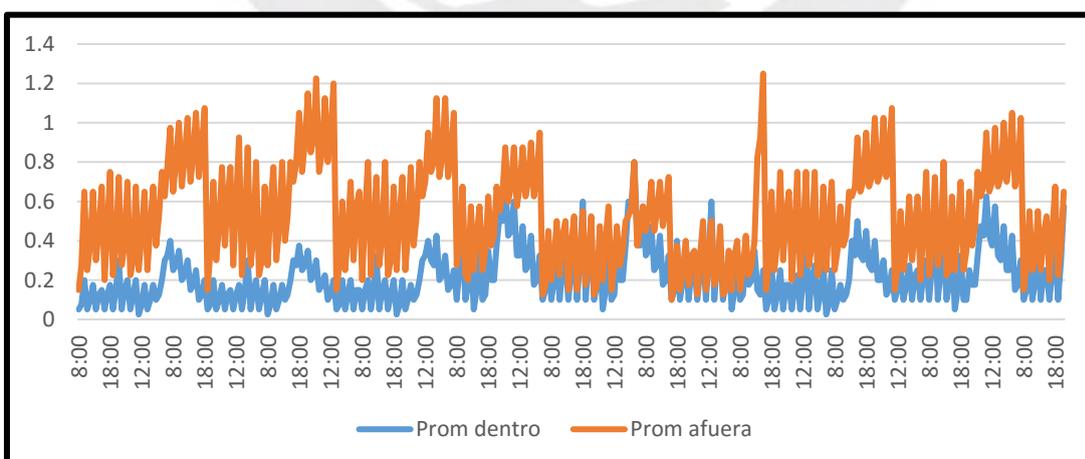


Figura 58: Comportamiento del régimen térmico comparado al interior y exterior de la vivienda bioclimática. (Fuente propia)
 Eje X: Semanas del tiempo de medición (Semanas)
 Eje Y: Ventilación en m/s

En la próxima figura 59, se analiza el comportamiento de la diferencial de ventilación del interior respecto del exterior a lo largo del día durante las 17 semanas de medición. Como se aprecia, se muestran velas japonesas bajistas al mediodía y en la tarde, lo que quiere decir que las diferenciales eran menores al final de las 17 semanas con respecto al inicio y puede explicarse debido a que, a medida que avanzaba el tiempo, el clima se volvía más seco y con menos flujo de aire externo. Siguiendo con esto, las diferenciales máximas son 0.7 m/s, 0.83 m/s y 1 m/s para la mañana, medio día y la tarde respectivamente.

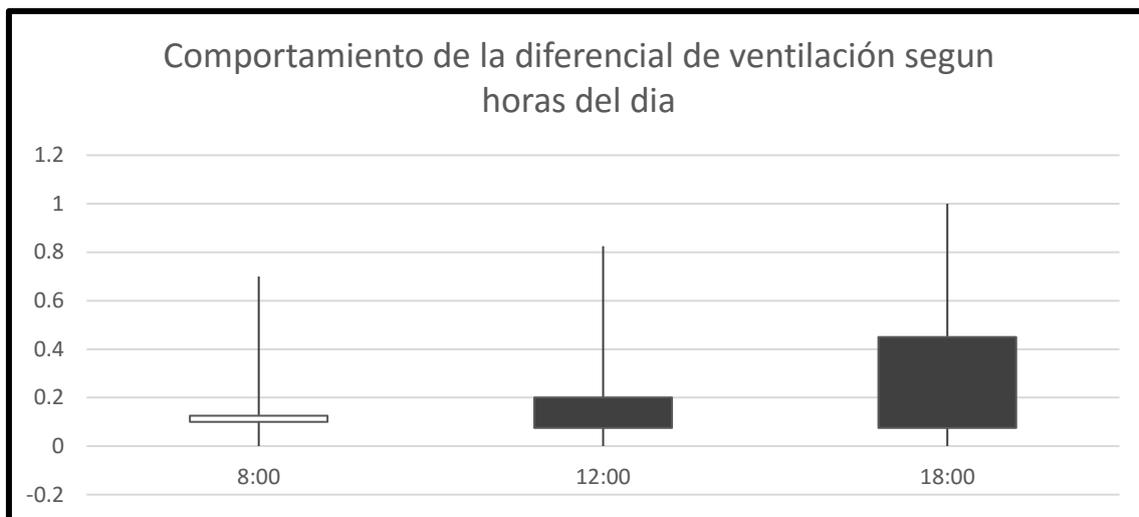


Figura 59: Comportamiento de la diferencial de ventilación según horas del día en m/s. (Fuente propia)

Eje X: horarios del tiempo de medición
Eje Y: diferencial de ventilación en m/s.

Finalmente, en la última figura 60 mostrada a continuación, se analiza el comportamiento de la diferencial de ventilación comparada de los 3 horarios observada a lo largo del tiempo. Como se muestra, a diferencia del análisis de temperatura e intensidad lumínica, en la ventilación no muestran diferencias tan significativas según los diferentes horarios de medición. Sin embargo, se puede apreciar que la tendencia de las 18:00 horas es ligeramente la más alta, comprobándose que en este horario el terreno tenía un mayor flujo de aire. En contraste con esto, la tendencia de las 8:00 horas es la que presenta más bajas variaciones. Además, se aprecia la notoria caída en la zona del medio, la cual corresponde al mes de febrero, el mes más seco del 2019. Por último, se observa una caída el día 81 que no va de acuerdo con la tendencia, lo cual podría tratarse de un error en la medición.

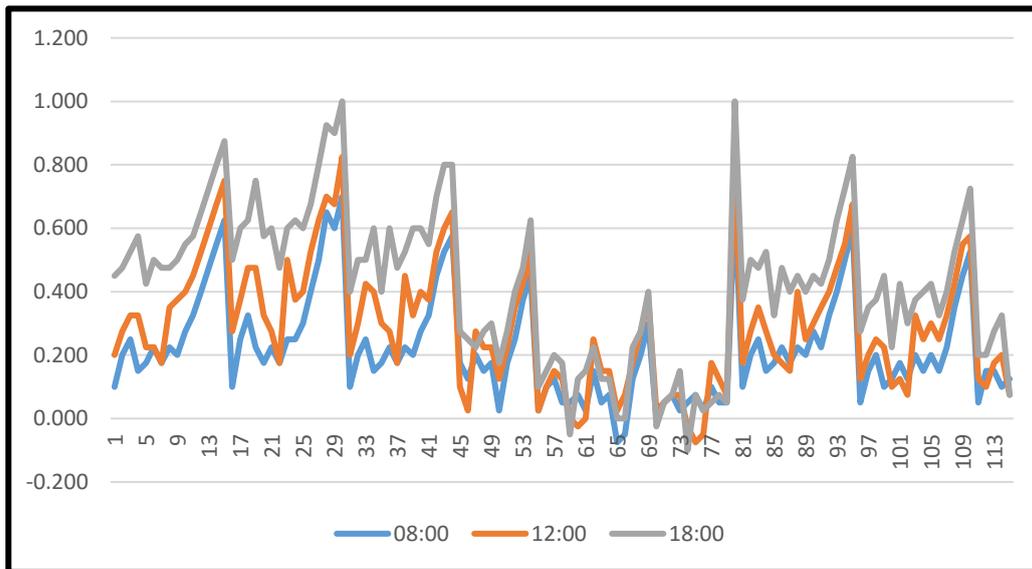
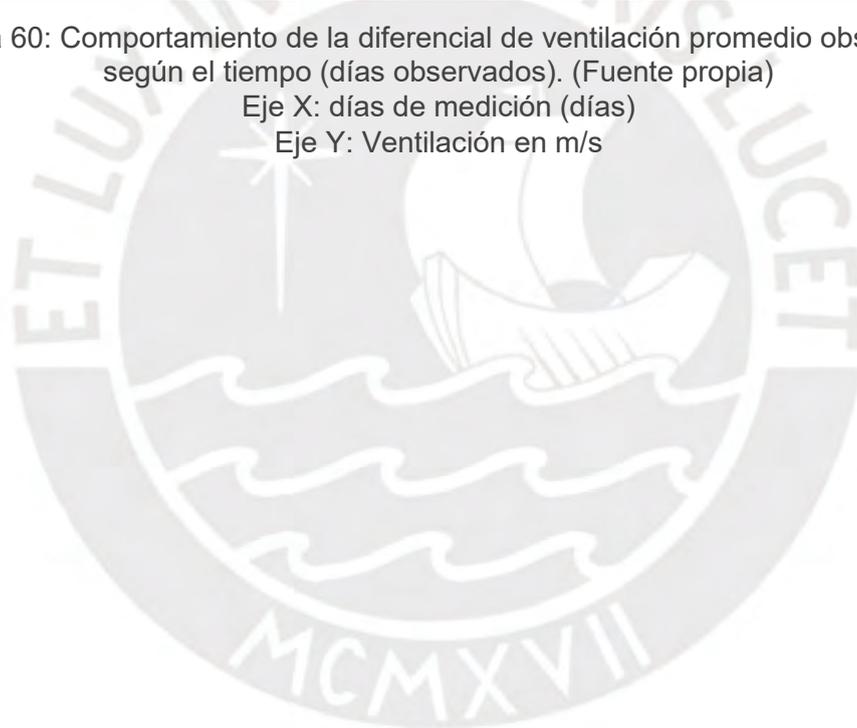


Figura 60: Comportamiento de la diferencial de ventilación promedio observada según el tiempo (días observados). (Fuente propia)
 Eje X: días de medición (días)
 Eje Y: Ventilación en m/s



5.2. Comprobación de la hipótesis

Primeramente, para analizar si la hipótesis de que la temperatura, intensidad lumínica y ventilación dentro de la vivienda eran significativamente diferentes con respecto a la exterior, se ingresó la data recopilada al programa estadístico SPSS, en el cual se realizó una comparación de medias con el estadístico de prueba T-Student para un intervalo de confianza de 95%

En primer lugar, se debe validar que haya diferencias significativas entre las temperaturas internas y externas. Para ello, se propuso la hipótesis “La diferencia de temperatura exterior respecto a la interior no es significativa” y se representa de la siguiente forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{La diferencia de temperatura exterior respecto a la interior no es significativa} \\ H_1: \text{La diferencia de temperatura exterior respecto a la interior si es significativa} \end{array} \right.$$

En efecto, solamente para el análisis térmico se obtuvo una muestra de 345 datos, los cuales se procesaron en el programa SPSS y los resultados se muestran en las siguientes tablas 10 y 111 mostradas a continuación. Específicamente en la tabla 12 se puede apreciar que el estadístico de prueba t. Student, tiene un valor de 6.20. A la vez, para que se rechace H_0 , p. value debe ser menor a 0.05 debido a que eligió un intervalo de confianza del 95%. Finalmente, se aprecia que efectivamente p.value es menor a dicho valor, por lo que se rechaza la H_0 y se acepta H_1 , lo que significa que hay diferencias significativas entre las temperaturas internas y externas.

Tabla 10: Estadísticas de muestras emparejadas para el régimen térmico. (Fuente propia)

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Temperatura dentro de la vivienda	32,4833	345	5,60754	,30190
	Temperatura fuera de la vivienda	27,2566	345	16,32430	,87887

Tabla 11: Prueba de hipótesis para muestras emparejadas para el régimen térmico. (Fuente propia)

	Diferencias ...	t	gl	Sig. (bilateral)	
					95% de intervalo de confianza de ...
					Superior
Par 1	Temperatura dentro de la vivienda - Temperatura fuera de la vivienda	6,88482	6,200	344	,000

Asimismo, según los resultados obtenidos en el capítulo 5.1.1. El régimen térmico, se concluye que la temperatura interna del piloto es mayor a la externa del mismo.

En segundo lugar, se validará que haya diferencias significativas entre las intensidades lumínicas internas y externas. Para ello, se propuso la hipótesis “La diferencia de la intensidad lumínica exterior respecto a la interior no es significativa” y se representa de la siguiente forma:

- $\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{La diferencia de la intensidad lumínica exterior respecto a la interior no es significativa} \\ H_1: \text{La diferencia de la intensidad lumínica exterior respecto a la interior si es significativa} \end{array} \right.$

Efectivamente, en el análisis de intensidad lumínica se obtuvo una muestra de 345 datos, los cuales se procesaron en el programa SPSS y los resultados se muestran en las tablas 12 y 13 mostradas a seguidamente. Como se aprecia en la tabla 11, al igual que en el análisis térmico, se aprecia que p.value es menor que 0.05, por lo que también se rechaza H_0 y se acepta H_1 , lo que significa que hay diferencias significativas entre las intensidades lumínicas internas y externas.

Tabla 12: Estadísticas de muestras emparejadas para el régimen de intensidad lumínica. (Fuente propia)

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar	
Par 2	Intensidad lumínica dentro de la vivienda	384,7360	345	559,07533	30,09960
	Intensidad lumínica fuera de la vivienda	717,8215	345	793,05668	42,69674

Tabla 13: Prueba de hipótesis para muestras emparejadas para el régimen de intensidad lumínica. (Fuente propia)

		Diferencias ...	t	gl	Sig. (bilateral)
		95% de intervalo de confianza de ...			
		Superior			
Par 2	Intensidad lumínica dentro de la vivienda - Intesidad lumínica fuera de la vivienda	-300,64896	-20,198	344	,000

Asimismo, según los resultados obtenidos en el capítulo 5.1.2. El régimen de la intensidad luminosa, se concluye que existe al menos 1 lux en el interior de la vivienda durante la tarde

Finalmente, en tercer lugar, se validará que haya diferencias significativas entre la ventilación interna y externa del piloto. Para ello, se propuso la hipótesis “La diferencia de la ventilación exterior respecto a la interior no es significativa” y se representa de la siguiente forma:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{La diferencia de la ventilación exterior respecto a la interior no es significativa} \\ H_1: \text{La diferencia de ventilación exterior respecto a la interior si es significativa} \end{array} \right.$$

Al igual que en los casos anteriores, en el análisis de ventilación también se obtuvo una muestra de 345 datos, los cuales se procesaron en el programa SPSS y los resultados se muestran en las tablas 14 y 15 mostradas a continuación. Finalmente, en la tabla 13 se muestra que p.value es menor que 0.05, por lo que, al igual que en caso del régimen térmico y de intensidad lumínica, se rechaza H_0 y se acepta H_1 , lo que significa que hay diferencias significativas entre la ventilación interna y externa del piloto.

Tabla 14: Estadísticas de muestras emparejadas para el régimen de ventilación. (Fuente propia)

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 3	Velocidad del viento dentro de la vivienda	,2185	345	,13580	,00731
	Velocidad del viento fuera de la vivienda	,5309	345	,26038	,01402

Tabla 15: Prueba de hipótesis para muestras emparejadas para el régimen de ventilación. (Fuente propia)

		Diferencias ...	t	gl	Sig. (bilateral)
		95% de intervalo de confianza de ...			
		Superior			
Par 3	Velocidad del viento dentro de la vivienda - Velocidad del viento fuera de la vivienda	-,28924	-26,460	344	,000

Asimismo, según los resultados obtenidos en el capítulo 5.1.3. El régimen de ventilación, se concluye que existe al menos una ventilación de 0.1 m/s en el interior de la vivienda durante el día.

En conclusión, debido a todo lo dicho anteriormente, se demuestra que los tres parámetros presentan diferencias significativas del interior respecto al exterior. Debido a ello, se procederá a calcular los índices bioclimáticos de la vivienda, para lo cual se toma el valor promedio de las diferenciales de cada parámetro durante los 115 días de medición. Finalmente, dichos valores finales se pueden apreciar en la siguiente tabla 16. Como se aprecia, la diferencia térmica del interior de la vivienda con respecto al exterior es de 6°C en promedio, la diferencia de intensidad lumínica interna y externa es de 330.1 lux en promedio y, por último, la diferencia entre la ventilación interna y externa de la vivienda es de 0.3 m/s.

Tabla 16: Índices bioclimáticos de la vivienda bioclimática (Fuente propia)

T (°C)	I (Lux)	V (m/s)
-6	-330.1	0.3

5.3. Discusión de resultados

Con el fin de analizar las fortalezas y debilidades de la presente investigación, así como proponer mejoras al prototipo y a la metodología de evaluación, se compararán los resultados obtenidos con otros casos similares. Para ello, se analizará el sistema propuesto en cada caso y se contrastará a detalle las diferencias con el modelo propuesto.

5.3.1. Vivienda bioclimática N°8 del Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento (MVCS)

En el 2016, el Ministerio de Vivienda, construcción y saneamiento (MVCS), en colaboración con CARE Perú, desarrollaron un proyecto en las provincias de Castrovirreyna y Huaytará, en el departamento de Huancavelica, en donde se implementaron viviendas con diferentes combinaciones de sistemas de aislamiento térmico y captación de calor. La finalidad de dicho proyecto consistía en incrementar su temperatura interior y comparar cuáles combinaciones podrían generar los resultados más óptimos en términos de confort térmico (GIZ et al., 2016). Siguiendo con ello, en total se implementaron 10 viviendas con diferentes sistemas en cada una y, a continuación, se contrastarán los resultados de la vivienda N°8 con los obtenidos en el presente prototipo.

La vivienda N°8 se desarrolló en la provincia de Huaytará en una vivienda rural de 70.58 m² y la cual contaba con dos dormitorios, sala, comedor y cocina. Las principales características de esta morada y de su sistema implementado eran las siguientes: en primer lugar, los muros perimetrales eran de adobe y tenían un espesor de 40 cm, lo cual se observó que efectivamente acumulaba, reservaba y preservaba el calor. A la vez, en dichos muros se realizó el tapido de orificios y aberturas para evitar pérdidas de calor. Por otro lado, el techo fue elaborado con tela, paja, plástico y fibrocemento y, paralelo a ello, en él se implementó una claraboya con una calamina transparente para dotar al ambiente de iluminación y para que funcione como captador de energía solar. Con respecto al piso, se implementó un sistema higratérmico a través de un

piso de madera con cama de piedra. Este tipo de sistema sirve para aislar a la vivienda de su terreno natural y, de esta manera, impedir la transmisión de humedad del suelo a la vivienda. Esto también tiene un fin sanitario, debido a que genera una vivienda más higiénica y con menos probabilidad de que sus habitantes acarreen enfermedades. A la vez, este sistema también servirá como regulador de temperatura, ya que contribuirá a mantener el calor en el interior de los ambientes (GIZ et al., 2016). Dicho sistema se ilustra en la siguiente figura 61 mostrada a continuación:

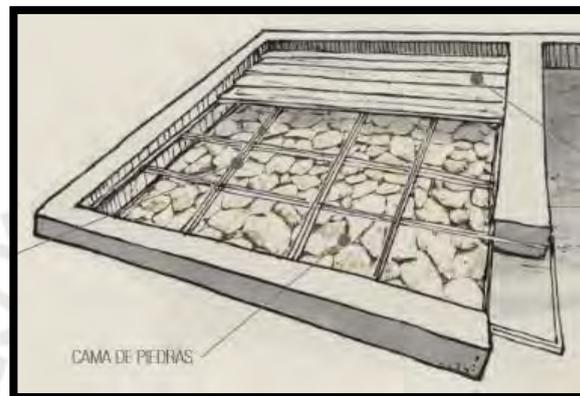


Figura 61: Sistema higrotérmico de cama de piedra. (Fuente: GIZ et al., 2016).

Por otro lado, se colocó una puerta de madera y un sistema de ventana doble. Este último sistema consiste de dos hojas colocadas en un mismo vano separadas por una cámara de aire. Al estar cerrada, esta impide el flujo directo de aire, por lo que el frío o calor tendrá más tiempo en transmitirse de un vidrio a otro, con lo que se aísla el ambiente interior del exterior (GIZ et al., 2016). Este último sistema de muestra en la figura 62 mostrada seguidamente:

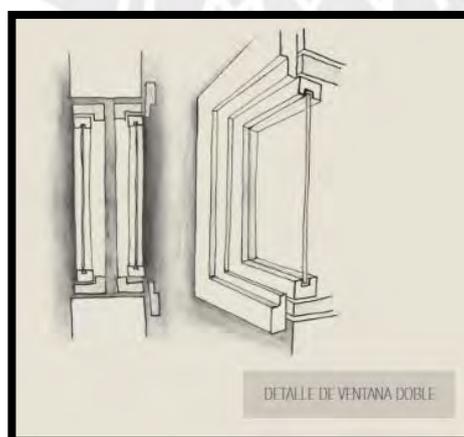


Figura 62: corte transversal en sistema de ventana doble. (Fuente: GIZ et al., 2016).

Finalmente, se añadió un fitotoldo adosado, también conocido como invernadero, como un sistema adicional de calentamiento de la vivienda, el cual captura la energía solar durante el día y por la noche la transmite por medio de ductos al interior de la morada. Adicional a ello, como las condiciones de calor y humedad que se generan en este espacio son óptimas para el cultivo, se aprovecha esta oportunidad para producir alimentos cuya supervivencia en el exterior sería imposible por las bajas temperaturas (GIZ et al., 2016).

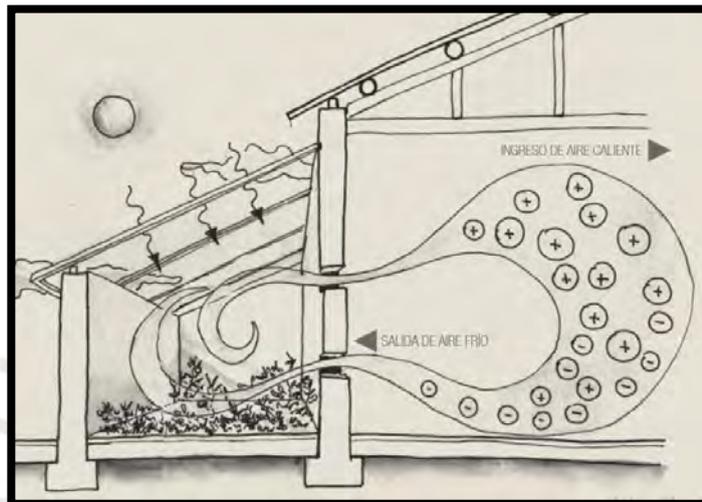


Figura 63: corte transversal de una casa con fitotoldo adosado (Fuente: GIZ et al., 2016).

Se procedió a medir las temperaturas internas y externas de la vivienda desde el 10 de julio hasta el 11 de agosto, es decir, la vivienda fue analizada por un mes y un día. Después de dicho procedimiento, se obtuvieron las siguientes figuras 64 y 65 mostradas a continuación:



Figura 64: Temperaturas registradas a las 6 am en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).

Tabla 17: Promedio y diferencias de temperaturas registradas a las 6 am en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).

Promedio y diferencias de temperaturas registradas a las 6 am			
	Casa con medidas	Casa sin medidas	Ambiente
Promedio	9.70	2.30	-4.80
Diferencia		7.40	14.50

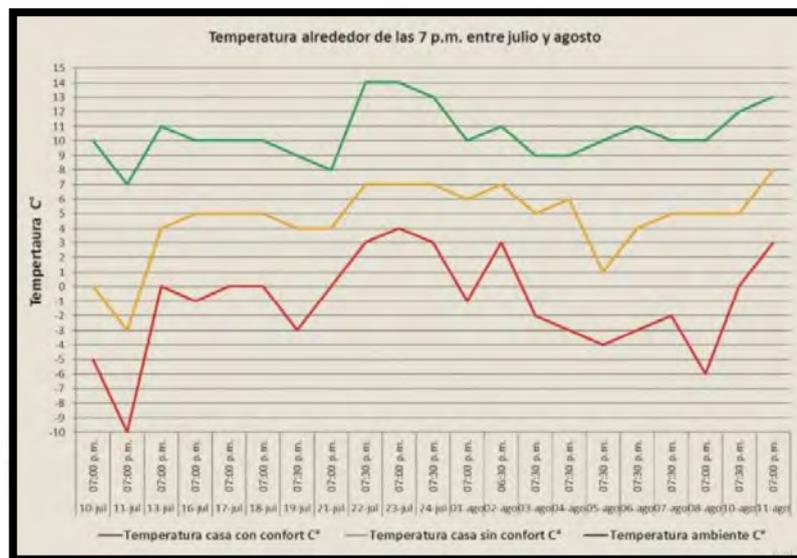


Figura 65: Temperaturas registradas a las 7 pm en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).

Tabla 18: Promedio y diferencias de temperaturas registradas a las 7 pm en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).

Promedio y diferencias de temperaturas registradas a las 7 pm			
	Casa con medidas	Casa sin medidas	Ambiente
Promedio	10.50	4.60	-1.10
Diferencia		5.90	11.70

Finalmente, el principal resultado obtenido de la vivienda N°8 es que permite elevar la temperatura en 3°C a 8°C en relación a una vivienda sin confort y de 5°C a 10°C en relación a la temperatura del ambiente exterior.

La primera comparación a realizar entre la vivienda N°8 y el prototipo de la presente investigación es sobre el sistema empleado. La Vivienda N°8 cuenta con dos mecanismos de obtención de calor y luz (la claraboya y el fototoldo), mientras que el piloto cuenta con solo uno (el techo bioclimático). A la vez, la vivienda N°8 cuenta con un revestimiento en el piso mientras que el piloto se mantuvo con el terreno natural. Por otro lado, ambos sistemas cuentan con muros de adobe, cada uno con sus propias características y procedimientos constructivos, y confinaron las aberturas de las ventanas y otros vanos para evitar pérdidas de calor. En resumen, la vivienda N°8 posee un sistema de confort térmico más completo que el piloto debido a que se enfoca en casi todas las partes de la vivienda y aplica un sistema diferente para cada una de ellas.

En segundo lugar, se intentará comparar los resultados térmicos de ambos modelos. Para analizar los resultados obtenidos del piloto se realizaron las siguientes figuras 66 y 67, las cuales analizan el comportamiento de las temperaturas registradas a las 8:00 am y 18:00 pm en el interior y exterior del prototipo respectivamente durante las 17 semanas de medición. Ello se realiza con el fin de compararlas con las figuras 64 y 65 de la vivienda N°8.

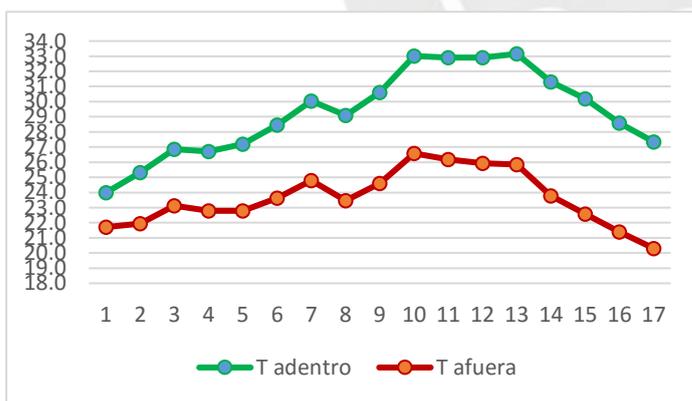


Figura 66: Temperaturas registradas a las 8:00 am en interior y exterior del prototipo (Fuente propia)



Figura 64: Temperaturas registradas a las 6 am en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).

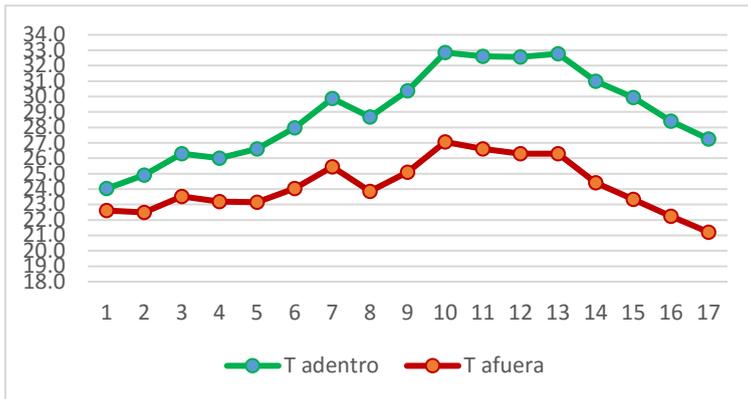


Figura 67: Temperaturas registradas a las 18:00 pm en interior y exterior del prototipo (Fuente propia)

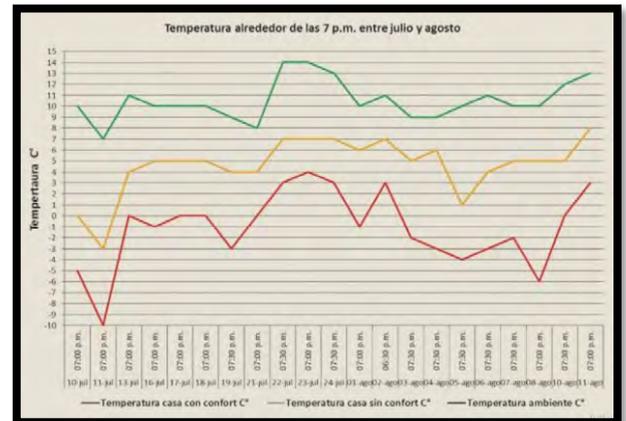


Figura 65: Temperaturas registradas a las 7 pm en una vivienda con confort, una sin confort y en el ambiente (Fuente: GIZ et al., 2016).

Según los resultados, en el prototipo propuesto hay una diferencia térmica de 6°C en promedio entre el interior y exterior de la vivienda, mientras que en la vivienda N°8 varía entre 5 y 10°C. Siguiendo con ello, se aprecia que en las figuras 64 y 65 hay una ligera separación mayor entre las líneas rojas y verdes en comparación con las figuras 66 y 67. Analizando estas graficas y contrastándolas con los resultados obtenidos, se recalca que el principal problema del prototipo propuesto es que, si bien absorbe rápidamente el calor obtenido del sol, este no es capaz de retenerlo por mucho tiempo, especialmente en las noches que es el horario donde más se necesita. Ello puede deberse a un error en el diseño y se debe proponer soluciones para retener el calor en la vivienda. Una opción propuesta es reforzar el techo y paredes con materiales aislantes que eviten la fuga del calor como por ejemplo la fibra de vidrio, el cual tiene una conductividad térmica de 0,03 - 0,07 λ . Además, esta fibra podría adherirse a las superficies con una capa de yeso, el cual tiene una conductividad térmica de 0.488 λ , y podría dar un acabado liso y uniforme en las superficies. Cabe resaltar que este reforzamiento superficial de tipo "sándwich" entre la fibra de vidrio y el yeso está compuesto con materiales económicos y accesibles para los pobladores altoandinos.

En tercer lugar, es importante recalcar que la vivienda N°8 se desarrollo en la sierra, por lo que una propuesta de mejora futura sería desarrollar el prototipo

en la sierra para trabajar con temperaturas más reales. Sin embargo, el prototipo se analizó durante 115 días, mientras que la vivienda N°8 por 31, por lo que el prototipo tiene un análisis de data más preciso en comparación con la vivienda N°8, lo que permite una mejor interpretación también.

En cuarto lugar, es importante a comparar los proyectos en términos de costos por lo que se presenta a continuación la tabla 21 con la información brindada sobre el presupuesto de la vivienda N°8:

Tabla 19: Presupuesto de los sistemas implementados en la vivienda N°8
(Fuente: GIZ et al., 2016).

Presupuesto de sistemas implementados en vivienda N°8						
ITEM	Descripción	UNIDAD	P.U. (S/.)	Cant	Precio final (S/.)	Comentarios
1	Ventana doble	cant	97.25	2.00	194.50	Ventanas de 50x50cm
2	Piso de madera con cama de piedras	m2	124.84	70.58	8,811.21	
3	Claraboya	cant	310.00	1.00	310.00	Claraboya de 80x80cm
4	Fitotoldo	cant	1,072.00	1.00	1,072.00	módulo de 7x3m
5	Cielo raso	m2	24.30	70.58	1,715.09	
TOTAL			1,628.39		12,102.80	

*No incluye costos de mano de obra

* No incluye costos de transporte

En efecto, es complicado comparar a ambos sistemas debido a que la vivienda N°8 se realizó sobre una morada ya existente y no incluye los costos de mano de obra ni de transporte. Sin embargo, se analizarán ambos sistemas por m2. La vivienda N°8 tiene un costo de 171.5 soles/m2 solo por los materiales de los sistemas implementados, mientras que en el sistema propuesto fue de 288.9 soles/m2, lo que significa que tiene un mayor costo por m2. Sin embargo, la gran mayoría de los materiales para implementar los sistemas de la vivienda N°8 son complejos y no se consiguen en zonas rurales, por lo que su traslado hasta estos lugares generaría un gran incremento en los costos.

En quinto lugar, se compararán las ventanas implementadas en ambos casos. Por un lado, la vivienda N°8 propone un sistema novedoso de sistema doble, impidiendo el flujo directo de aire mientras que el piloto utilizó el mismo sistema planteado que en el techo. Este último sistema no sería práctico en una vivienda alto andina, debido a la baja luminosidad que genera en el interior y a que posiblemente no soporte los vientos fuertes de esta zona. Debido a ello, en una vivienda rural si se recomendaría optar por el vidrio para diseñar las ventanas.

Siguiendo con este punto, otro problema detectado en el piloto es la baja luminosidad que permite ingresar en la vivienda. Para solucionar ello la vivienda N°8 propone una claraboya en el techo y una propuesta de mejora para el prototipo es utilizar las mismas botellas de plástico como fuente de luz. En el 2002, un mecánico brasilero diseñó un sistema de iluminación natural usando solamente una botella de plástico, agua y lejía. Esto consiste en incrustar en los techos una botella de 2 litros llena de agua y 2 tapas de lejía, como se puede apreciar en la siguiente figura 68. En funcionamiento es el siguiente: los rayos del sol, que viajan en vertical a través del envase, chocan con el líquido y generan una refracción horizontal de 360 grados, lo cual ilumina toda la habitación (Condominios verdes, 2017).



Figura 68: Sistema de iluminación económica y ecológica inventada por Alfredo Moser (Fuente: *Condominios verdes*, 2017)

Finalmente, la vivienda N°8 diversifica sus fuentes de calor mientras que el prototipo mostrado solo depende de uno. Debido a ello y, para continuar con la misma línea de materiales, una propuesta de mejora es la construcción de un invernadero usando solamente cañas y plástico. Esta práctica de bioconstrucción se viene realizando en diversas partes del mundo y consiste en amarrar las cañas para generar arcos, los cuales serán las estructuras del invernadero. Estos arcos se entrecruzan entre sí para generar más estabilidad a la estructura y sus extremos se enterrarán en el terreno. Previo a ello, el terreno se ha debido preparar para que las cañas queden firmemente empotradas a él (ecoinventos,2021). Este procedimiento se puede apreciar en la siguiente figura 69 mostrada a continuación:



Figura 69: Procedo de armado de la estructura de caña para un invernadero ecológico (Fuente: ecoinventos, 2015)

Seguidamente, después de ensamblar el resto de los elementos estructurales y la puerta, la estructura es recubierta por una capa de plástico como se aprecia en la siguiente figura 70.



Figura 70: Acabado final de un invernadero ecológico a base de cañas (Fuente: ecoinventos, 2015)

Finalmente, para que esta propuesta sea una fuente de calor adicional en el prototipo, debería adosarse a uno de los muros de la vivienda tal y como se realizó en la vivienda N°8 y, a través de orificios en los muros, el calor podrá regularse a comodidad de sus habitantes.

5.3.2. Confort Térmico del Arquitecto Cesar Moncloa y la Universidad Continental, sede Huancayo.

El sistema de “Confort térmico” fue uno de los casos de estudio presentados en los antecedentes de la presente investigación, por lo que a continuación se contrastarán los resultados obtenidos con los del prototipo.

En primer lugar, ambos proyectos emplean sistemas de captación de calor similares, utilizando parrillas de botellas de plástico PET recicladas. Por un lado, “confort térmico” adecua estas parrillas en el techo y ventanas de viviendas rurales ya existentes, acomodándose a dichos espacios. Por otro lado, el prototipo además de tener un techo y ventanas con este sistema de parrillas, dichos elementos fueron envueltos en un saco de polipropileno color negro para poder atraer más intensamente el calor de los rayos solares. Además, el prototipo posee una estructura a base de quincha y adobe, la cual, debido al aire encapsulado de las cañas y las propiedades del adobe, permite acumular, reservar y preservar el calor.

En segundo lugar y, con respecto a la toma de data para analizar la efectividad de cada sistema, en el prototipo se realizaron mediciones a las 8:00 am, 12:00 pm y 18:00 pm, mientras que en “confort térmico” se realizaron mediciones a cada hora desde la media noche hasta las 5 de la mañana. En este caso, las mediciones realizadas por “confort térmico” pueden brindar un panorama más claro sobre lo que ocurre en la vivienda en las horas críticas de las heladas, las cuales son justamente en la noche y madrugada. Debido a ello, una propuesta de mejora, además de desarrollar el prototipo en la sierra, es realizar las mediciones en la noche y madrugada, debido a que este es el horario crítico donde se busca un mayor aumento de temperatura.

En tercer lugar, las mediciones de “confort térmico” se realizaron durante una semana, mientras que en el prototipo se realizaron durante 115 días, por lo que este último brinda una data más certera y un análisis a un mayor plazo. Sin embargo, debido a que “confort térmico” trabajó sobre viviendas ya existentes, primero realizaron las mediciones en los espacios sin el sistema implementado y luego se instaló el sistema, se repitió dicho proceso para comparar los resultados entre una vivienda con y sin “confort térmico”. Esto también sería

una sugerencia para futuras investigaciones debido a que permite tener una mejor percepción de cómo efectivamente está mejorándose el confort al interior del hogar.

En cuarto lugar y con respecto a los resultados obtenidos en cada sistema, el prototipo alcanzó una diferencial térmica de 6°C del interior con respecto al exterior del mismo, mientras que “confort térmico” alcanzó una diferencia de 3°C entre la vivienda con y sin el sistema implementado. En la figura 71 mostrada seguidamente se muestra de color rojo la temperatura registrada en el interior de una vivienda con el sistema “confort térmico” y de color gris la registrada en el exterior, ambas muestran los valores promedio registrados en la semana de medición. Si bien no se cuenta con una metodología de medición similar en el prototipo, en la figura 72 se muestra el promedio de los valores internos registrados de color rojo y los externos de color gris, ambos durante las 17 semanas de medición.

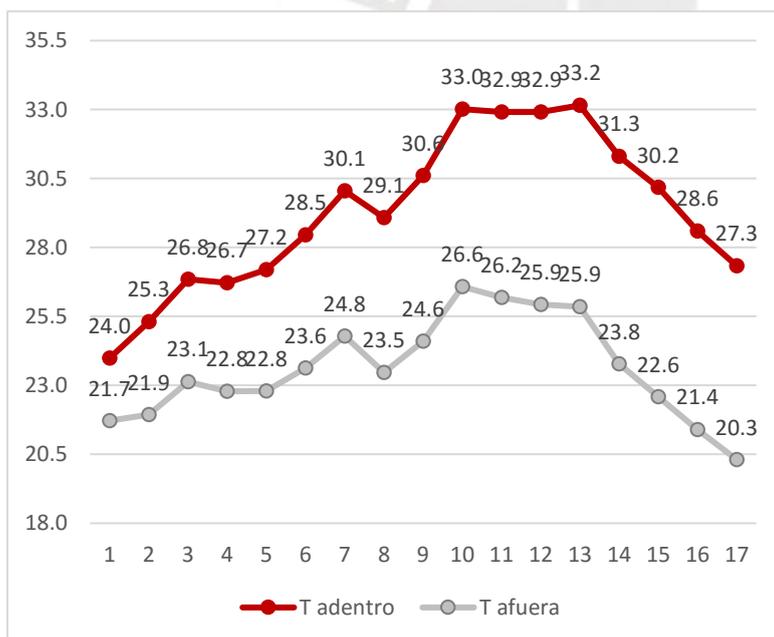


Figura 72: Temperaturas registradas a las 8:00 am en el interior y exterior del prototipo (Fuente propia)

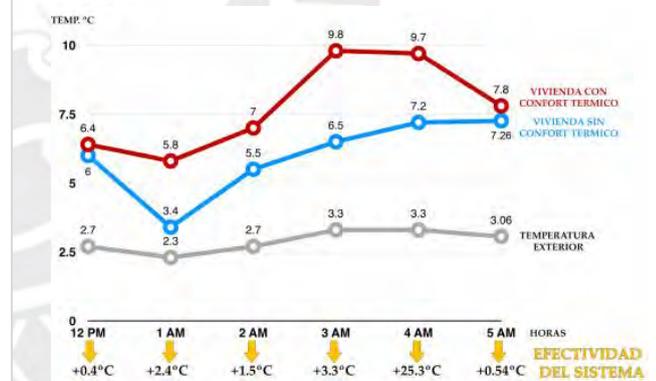


Figura 71: Cuadro comparativo entre las mediciones térmicas de una vivienda común alto andina y una con el sistema de confort térmico. (Fuente: Moncloa, 2017)

Como se aprecia en las figuras, si bien existe una distancia de separación similar entre las líneas rojas y grises de ambos gráficos, “confort térmico” logra una efectividad de hasta 3.3°C en la madrugada, lo que es un gran logro ya que

es uno de los horarios más fríos en dicha región. Siguiendo con ello, si bien el prototipo no realizó mediciones durante la noche, si demostró que no podía retener el calor adquirido del día por unos grandes periodos de tiempo, debido a que en la tarde la temperatura al interior disminuía y se podría intuir que en la noche continuaba disminuyendo.

En quinto lugar, en términos económicos, ambos proyectos se enfocaban en utilizar materiales de bajo costo y accesibles en las zonas rurales, por lo que tanto en el prototipo como en el “confort térmico” se puede confirmar que son accesibles con la población alto andina y, además, son sostenibles con el medio ambiente al incluir al reciclaje como parte de su sistema.

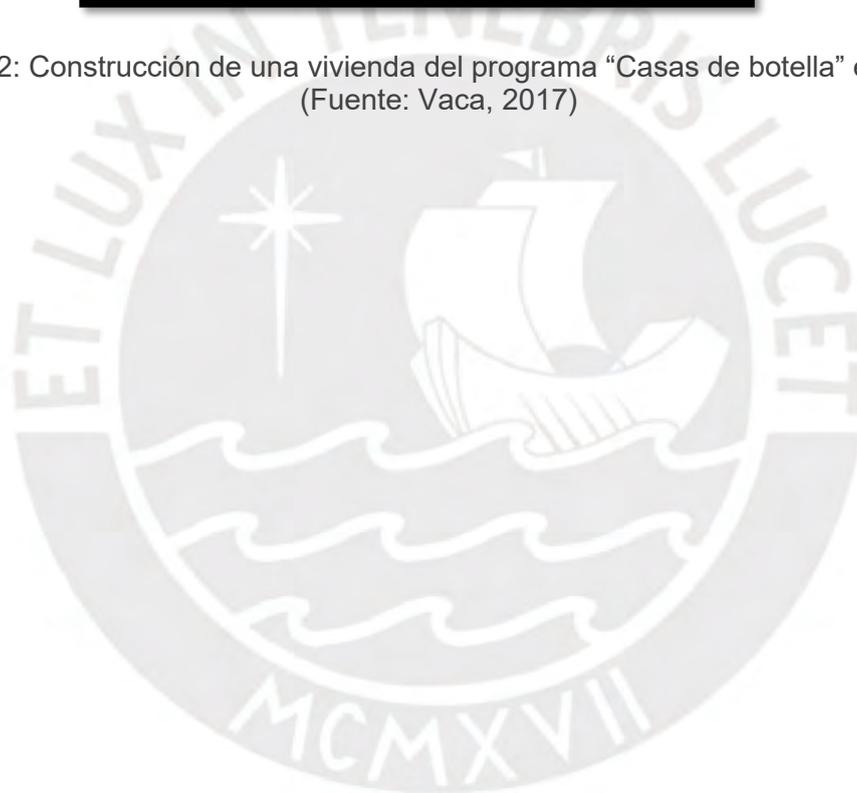
En sexto lugar, otro factor importante a considerar es el tiempo. En el sistema de confort térmico, al colocarse directamente sobre las viviendas ya existentes, el proceso de implementación es más rápido en comparación con el del prototipo. Ello principalmente radica en que el prototipo busca que la misma estructura de la vivienda tenga capacidades térmicas que permitan retener el calor. Este punto también es relevante debido a que, al implementarse el sistema bajo el techo, se aumenta el tiempo de vida del mismo y es más probable que sea resistente a las fuertes lluvias y vientos típicos de la zona. En el caso del prototipo, al utilizar solo como techo a las botellas de PET en el saco de polipropileno, es decir, materiales que no proporcionan una gran rigidez, se disminuiría su tiempo de vida al no poder soportar las condiciones meteorológicas de las zonas altoandinas.

Continuando con este punto de cómo rigidizar a la vivienda sin perder las condiciones térmicas necesarias. Una propuesta de mejora sería llenar las botellas de arena e incluirlas en los muros además de solamente el techo, ello proveería muros resistentes y con una buena aislación térmica, debido a que la arena posee una conductividad térmica de 0.15λ . En efecto, existe un proyecto en Bolivia titulado “Casa de botellas”, donde se construyen viviendas económicas utilizando esta metodología. Primero se rellenan las botellas con arena y luego se apilan y amarran entre sí para levantar paredes. Finalmente, son fijadas con cemento o barro. El sistema es válido para el revestimiento y armazón de la estructura (Vaca, 2017). En la siguiente figura 73 se puede

apreciar una foto de una vivienda en construcción utilizando este sistema:



Figura 72: Construcción de una vivienda del programa “Casas de botella” en Bolivia.
(Fuente: Vaca, 2017)



5.3.3. Construcción de una vivienda solar en base a las propiedades termo físicas y evaluación experimental de su confort térmico en Llave

En el 2014, la revista de investigaciones alto andinas de la Universidad Nacional del Altiplano (UNAP) publicó el artículo del ingeniero Arturo Flores Condori, quien desarrolló una evaluación experimental del rendimiento térmico de una vivienda solar pasivo construida en el distrito de Llave, en la provincia del Collao, departamento de Puno. El objetivo de dicha investigación era analizar la eficiencia térmica de la vivienda tomando en consideración factores bioclimáticos, tales como la orientación, distribución y un adecuado diseño en el sistema de acumulación de energía a fin de alcanzar un confort térmico, permitiendo una condición de vida saludable para el poblador rural. En dicha vivienda se implementó un sistema de doble pared de adobe, cielo raso en el techo y aislamiento del piso, donde en cada una de estas partes se priorizó el uso de materiales naturales accesibles a la zona, como por ejemplo el carrizo y la totora. A continuación, se compararán los resultados obtenidos de esta vivienda solar con los obtenidos en el presente piloto.

La construcción de esta vivienda solar se realizó en el año 2013, específicamente en la comunidad rural de Colloco, la cual se ubica a 3868 msnm. Para ello, se consideraron técnicas de orientación, ubicación, fuente de energía a través del recinto acumulador de calor aprovechando la energía solar y la distribución de energía calorífica al dormitorio (Flores, 2014). La primera parte del sistema consistía en una doble pared de adobe, como se aprecia en la figura 70-A. Esta propuesta constructiva implica colocar una hilada de adobes perpendiculares al eje del muro, formando la cara interior, y otra paralela al mismo, formando la exterior. Entre ambos se coloca una cámara de aire de 2 cm, la cual proporciona una resistencia térmica considerable ($0,16 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, según la norma IRAM 11601). En efecto, dicho espesor asegura que haya poca o ninguna posibilidad de convección, por lo cual sus cualidades aislantes se mantienen constantes a lo largo del año (Placitelli, 2016). En segundo lugar, un techo aislado con totora, como se aprecia en la figura 70-b, la cual se ha demostrado que tiene altas propiedades aislantes, inclusive mayores aún que el adobe y es muy popular en la región. Paralelo a ello, en el techo también se

implementó un cielo raso debido a que ello genera una cámara de aire que aísla el frío y asegura que el calor no se pierda por la cubierta. Además, se construyó con carrizo, otro material natural muy común de la zona, y se aisló del exterior con yeso y paja. En tercer lugar, se aisló al piso con un sistema de acumulación de energía basado en la encapsulación de piedras andesitas porosas, ichu y totora, la cual se puede mostrar en la siguiente figura 70-C mostrada seguidamente. Finalmente, en la figura 70-D se aprecia una vista de la vivienda construida.



Figura 73-A: Doble muro de adobe
(Fuente: Flores, 2014).



Figura 73-B: Aislamiento de techo con totora
(Fuente: Flores, 2014).



Figura 73-C: Aislamiento de piso con piedras, ichu
y totora. (Fuente: Flores, 2014).



Figura 73-D: Vista de la vivienda concluida
(Fuente: Flores, 2014).

Figura 73: Vivienda solar pasivo (Fuente: Flores, 2014).

Luego de ello, se registraron la temperatura y humedad relativa del aire en el ambiente interior y exterior de las viviendas desde 19 de junio al 02 de julio del 2013 y de manera continua para ambos parámetros. Dichos datos se representan en la siguiente Figura 71 mostrada seguidamente:

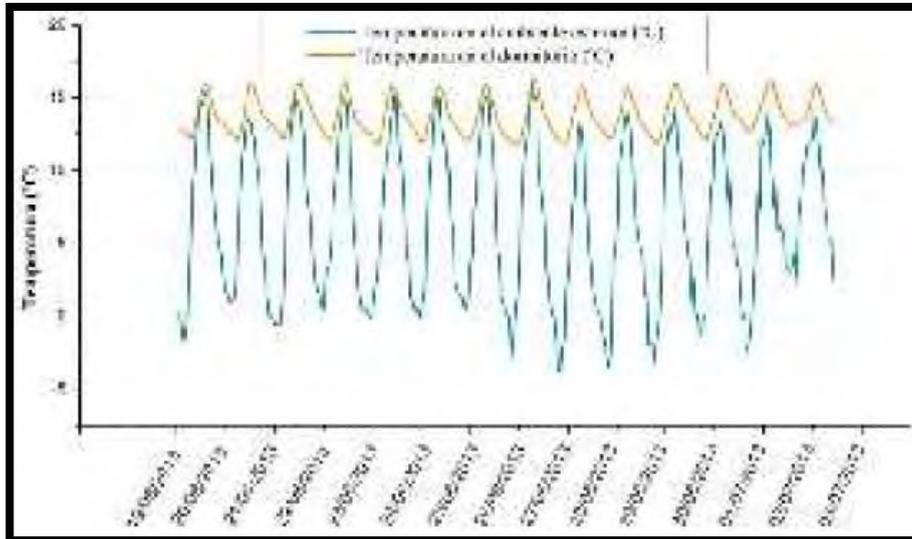


Figura 74: Comportamiento térmico medido en el interior y exterior de la vivienda solar después de su construcción (Fuente: Flores, 2014).

Como se aprecia en la figura, la línea de color amarillo muestra el registro de temperaturas en el interior de la vivienda, mientras que la línea verde muestra el registro de temperaturas exteriores a ella, donde se puede apreciar la gran variación que sufren las temperaturas alto andinas a lo largo del día y noche. De dicho proceso, se obtuvo que las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas fueron 15.85°C y 5.54°C respectivamente. Finalmente, según la evaluación de la vivienda construida, se aprecia que esta logra elevar la temperatura mínima en el interior de 5.54°C a 11.8°C , es decir, obtiene un incremento de temperatura mínimo de 6.26°C , respecto a la vivienda típica (Flores, 2014).

La primera comparación a realizar entre la vivienda solar pasivo y el prototipo de la presente investigación es sobre el sistema empleado. En efecto, ambos coinciden en diversos aspectos desde su diseño debido a que ambos fueron construidos en base a materiales con propiedades termo físicas y fueron provistos de un adecuado aislamiento térmico y acumulación de calor por intermedio de la energía solar. A pesar de ello, cada sistema ideó su manera

de generar el confort térmico. Por un lado, la vivienda solar abarca un aspecto más completo al contemplar un sistema de aislamiento en el techo, muros y piso. Por otro lado, el presente piloto se centra solo en utilizar al techo como un medio de captación de calor a través de la parrilla bioclimática. Finalmente, la vivienda solar obtuvo un incremento de temperatura mínimo de 6.26°C respecto a la vivienda típica, mientras que el prototipo obtuvo un incremento de 6°C respecto del exterior.

En segundo lugar, ambos sistemas consideraron la orientación y ubicación geográfica de la zona para poder elaborar un diseño más adecuado y eficiente. Por ejemplo, en el caso del prototipo, se utilizó el programa ecotect para determinar dichos valores, así como para el diseño del techo. Por otra parte, ambos sistemas contemplaron el uso de materiales naturales accesibles a la zona como por ejemplo el adobe y el carrizo. Ello también contribuye en hacer más económica cada vivienda y que esta sea sostenible con su medio ambiente.

En tercer lugar, es importante recalcar que la vivienda solar realizó las mediciones durante el mes de junio, uno de los más críticos de las heladas, mientras que el piloto lo realizó durante las temporadas de primavera y verano. Debido a ello, el comportamiento del sistema de la vivienda solar es más verídico y todas las retroalimentaciones obtenidas serían más efectivas. Por este motivo, una propuesta de mejora para la evaluación del sistema es, además de construir el piloto en la sierra y realizar las mediciones en la noche, es desarrollarlo en la época de invierno y así corroborar que el sistema funciona en la estación donde más se necesita. Asimismo, las mediciones registradas en la vivienda solar se realizaron de manera continua durante el tiempo de medición, a diferencia del prototipo en donde se realizaron de forma puntual en diferentes horarios. Esto no solamente facilita el trabajo de la toma de data, sino que permite observar cómo se comportan las temperaturas a lo largo del día, especialmente en las horas críticas de la noche y madrugada, y obtener un análisis más completo del mismo.

En cuarto lugar, en el sistema de vivienda solar no solo se registró la temperatura, sino también humedad relativa del aire en el ambiente interior y exterior de las viviendas. Después de analizar el comportamiento bioclimático

del prototipo se cuestionó qué tan relevante es la información proveniente del análisis lumínico y de ventilación. En base a ello, si se recomendaría volver a realizar un análisis lumínico en futuros prototipos, pero no el de ventilación. En lugar de esta última variable, se recomendaría medir la humedad relativa, como en el caso de la vivienda solar, debido a que la humedad es una variable importante para analizar el comportamiento de helada que está ocurriendo y sus consecuencias.

En quinto lugar, el hecho de que el sistema de vivienda solar haya podido realizar mediciones continuas, es decir tanto en el día como en la noche, por 14 días sin reportar casos de fatiga por el aumento de temperatura en el día significa que retiene sosteniblemente el calor durante el día. El presente prototipo demostró que efectivamente podría absorber rápidamente el calor aumentando su temperatura al medio día, sin embargo, ello podría desembocar en fatiga u golpes de calor considerando los altos niveles de radiación que hay en la sierra. Es por ello que una propuesta de mejora es colocar unas aberturas circulares en las paredes para que estos sirvan como reguladores de temperatura, dejando escapar el calor según la comodidad de su habitante.

Finalmente, a pesar de que ambos sistemas priorizan el uso de materiales accesibles y naturales de la zona, la vivienda solar no presentó problemas con la iluminación interna, a diferencia del prototipo. Es por ello que una propuesta de mejora podría ser utilizar botellas de vidrio en lugar de plástico y omitir el saco de polipropileno negro. Ello se propone con el fin de asimilar a una claraboya y se permita el ingreso de luz al interior. Además, aun se estaría teniendo un buen aislante térmico debido a que el vidrio tiene una conductividad térmica de 0.8λ y aun se encapsularía el aire dentro de él. Además, el que se tenga una estructura de vidrio en el techo, que podría estar reforzado con barro para evitar fugas, le proporcionaría una mejor estabilidad al prototipo. Una representación de una claraboya hecha con botellas de plástico se muestra en la siguiente figura 72:



Figura 75: Construcción de casas con materiales reciclables en Colombia (Fuente: Posada, 2015).



8. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

En esta tesis se desarrolló un prototipo de vivienda bioclimática basado en un sistema constructivo de quincha y un techo calefactor de botellas de plástico PET en la región de Lima metropolitana con el fin de analizar su eficiencia lumínica, de ventilación y, principalmente, térmica. A continuación, se detallarán las principales conclusiones obtenidas de dicha investigación:

En primer lugar, en cuanto a la metodología para la evaluación de la eficiencia térmica, en el prototipo se realizaron mediciones diarias en tres horarios diferentes durante 115 días para sus tres parámetros, lo que proporcionó una data suficientemente amplia para un análisis más certero y alineado con la realidad. Sin embargo, como recomendación para líneas futuras, sería óptimo desarrollar el prototipo en una zona alto andina, durante la temporada de invierno y con un horario de mediciones térmicas entre las 18:00 a las 06:00. Además, también se recomendaría realizar un análisis comparativo entre una vivienda con el sistema implementado y una sin él. Estas recomendaciones se hacen con el fin de analizar cómo verdaderamente se comporta la vivienda bioclimática frente a los climas extremos y proponer mejoras más específicas. Además, también se recomendaría añadir el parámetro de humedad relativa debido a que es una variable importante para analizar el comportamiento de la helada que está ocurriendo y sus posibles consecuencias.

En segundo lugar, con respecto al análisis térmico realizado, cuando se analizaron las gráficas de las temperaturas registradas a lo largo del tiempo, tanto en el interior como exterior de la vivienda, se apreció que ambas seguían una misma tendencia y que tanto las subidas y bajadas que se reflejaban iban acorde al inicio y fin del verano 2019. Por otro lado, se observó que efectivamente existe una diferencial térmica entre las temperaturas registradas en el interior y exterior de la vivienda. Además, se descubrió que, a lo largo del día, se registra una mayor diferencial al medio día, horario que coincide con la mayor temperatura registrada durante el día. En efecto, la diferencial máxima se dio en dicho horario y tuvo un valor de $6,23^{\circ}\text{C}$, mientras que la mínima se dio a las 18:00, con un valor de 1°C . Debido a ello, se concluye que, a mayor

cantidad de rayos solares absorbidos por el techo, mayor es la diferencial térmica obtenida. Estos resultados determinan que, si bien el prototipo puede absorber rápidamente los rayos solares durante el día, no logra retenerlos durante un gran periodo de tiempo, ya que a las 18:00 la temperatura disminuyó y se intuye que continúa disminuyendo durante la noche, horario donde más se quiere un incremento de temperatura. Esto puede deberse a una falla en el diseño y se sugiere un reforzamiento en el techo y muros con materiales aislantes como la fibra de vidrio o el yeso, ello aportaría a retener el calor en el interior. A la vez, otra propuesta de mejora es rellenar las botellas con un material con baja conductividad térmica como la arena, además, si estas botellas rellenas se añaden a los muros, le proporcionaría rigidez a la vivienda. Por otro lado, el prototipo se caracteriza por utilizar materiales económicos y provenientes de las zonas rurales, lo que lo convierte en una opción accesible para los pobladores andinos. Sin embargo, se caracteriza por solo depender una fuente de calor y se recomienda para futuras investigaciones poder diversificar en ello y centrarse no solo en un aspecto como el techo, sino en un diseño más completo, como por ejemplo enfocarse también en los pisos, las ventanas, cocinas y demás. Otra alternativa para ello es adosar un invernadero a la vivienda, el cual puede fabricarse con cañas y plástico, y dotaría a la vivienda con una fuente de calor adicional y un proveedor de alimentos para todo el año. En conclusión, según todo lo dicho anteriormente, se obtuvo una diferencial térmica promedio de 6°C entre el interior y exterior de la vivienda y, gracias al programa SPSS, se comprobó que dicha diferencial es significativa.

Con respecto al análisis lumínico realizado, se analizaron las intensidades lumínicas registradas a lo largo del tiempo, tanto en el interior como exterior de la vivienda, donde se apreció que las intensidades exteriores eran significativamente superiores a las interiores. En efecto, la intensidad lumínica externa era, en promedio, 333 lux superior a la interna. A la vez, ambas intensidades seguían una misma tendencia, la cual iba acorde a las temperaturas exteriores registradas en el inicio y fin del verano 2019 debido a que, como era de esperarse, el incremento en los rayos solares generaba una mayor luminosidad interna y externa. Por otro lado, en el análisis de la diferencial lumínica entre el interior y exterior de la vivienda a lo largo del día,

se aprecia que a las 18:00 horas se obtuvo una variación máxima de 7.3 lux, mientras que a las 12:00 se obtuvo una de 566.25 lux. Debido a ello, se determinó que en la tarde la variación era prácticamente nula y, por ende, la vivienda no tenía una iluminación significativa. Una propuesta de mejora para este problema es la incorporación de una claraboya hecha con botellas de vidrio recicladas y barro en el techo del prototipo. Ello no solo es una opción ecológica que proporcionaría iluminación al interior de la vivienda, sino que le proporcionaría mayor estabilidad al techo para soportar las lluvias y vientos característicos de la región. En conclusión, según todo lo dicho anteriormente, se obtuvo una diferencial lumínica promedio de 330 lux entre el interior y exterior de la vivienda y, gracias al programa SPSS, se comprobó que dicha diferencial es significativa.

Con respecto al análisis de ventilación realizado, se analizó la ventilación registrada a lo largo del tiempo, tanto en el interior como exterior de la vivienda, donde se apreció que ambas siguen una misma tendencia a lo largo de las 17 semanas. Efectivamente, se observó una tendencia de subida durante los últimos días de noviembre y una de bajada a partir de la quincena de diciembre, coincidiendo con el inicio del verano 2019. A la vez, las gráficas al exterior de la vivienda presentan flujos máximos de hasta 1.1 m/s, mientras que las del interior alcanzan hasta los 0.7 m/s. En conclusión, según todo lo dicho anteriormente, se obtuvo una diferencial de ventilación promedio de 0.3 m/s entre el interior y exterior de la vivienda y, gracias al programa SPSS, se comprobó que dicha diferencial es significativa.

En síntesis, el prototipo de vivienda bioclimática construido consiguió disminuir la iluminación interna en 330 lux respecto el exterior, disminuir la ventilación interna en 0.3 m/s respecto al exterior y, sobre todo, elevar la temperatura interna en 6°C en promedio respecto al exterior.

BIBLIOGRAFIA

Alayza, B. (2018). Casa caliente limpia PUCP: modelo sostenible de un sistema de confort térmico frente al fenómeno de las heladas. *Libro de Resúmenes del Primer Congreso de Energías Renovables y Arquitectura Bioclimática (CABER 2017): "Reconstruyendo el Perú sosteniblemente"*, 26-26. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/123918>

Askeland, D. y Wright, W. (2017). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. Cengage Learning.

Bernal, J., Torres, C. y Saldaña, J. (2014). *Termodinámica*. Grupo Editorial Patria. ISBN 9786074389388.

Blender, M. (2013 de marzo de 2015). *El valor U. La transmitancia térmica en edificación*. Arquitectura y Energía. <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/el-valor-u-la-transmitancia-termica-en-edificacion/#prettyPhoto>

Calvo, M. (2014). *Por qué el calentamiento global puede producir temperaturas de -50°*. <https://www.infobae.com/2014/01/11/1536377-por-que-el-calentamiento-global-puede-producir-temperaturas-50/>

Cao, L. (2020). *¿Cómo funciona un muro trombe?*. <https://www.archdaily.pe/pe/946740/como-funciona-un-muro-trombe>

Chapman, A. (1990). *Transmisión del calor*. Bellisco

Chakravarti, V. (2014). *Conductancia de contacto térmico*. Springer International Publishing. ISBN: 978-3-319-01276-6.

Chel, A., Nayak, J.K. y Kaushik, G. (2008). Energy conservation in honey storage building using Trombe wall. *Energy and Buildings*, 40, 1643-1644. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.02.019>

CIAC - Centro Tierra / INTE PUCP (CIAC-Centro Tierra). (2016). *Transferencia Tecnológica para la vivienda Alto andina*. <http://simposio.pucp.edu.pe/kawsaypacha/wp-content/uploads/sites/2/2017/02/20-SRodriguez.pdf>

Condominios verdes. (2017). *Botellas de plástico utilizadas para iluminar comunidades desfavorecidas*.

<https://www.condominiosverdes.com.br/es/botellas-de-plastico-utilizadas-para-iluminar-comunidades-desfavorecidas/>

Conforme, G y Castro, J. (2020). *Arquitectura bioclimática*. DOI: 10.23857/pc.v5i3.1381

Cromer, A y Fernandez, J. (1986). *Física en la Ciencia y en la Industria*. Reverté

Cuadrado, A. (10 de enero de 2013). *Panel de Quincha. Construcción (Dinamo08)*. Drassana. <http://arrrsa.org/2013/10/panel-de-quincha-construccion-dinamo08/>

Cuitiño, G., Esteves, A., Maldonado, G. y Rotondaro, R. (2015). *Análisis de la transmitancia térmica y resistencia al impacto de los muros de quincha*. Informes de la Construcción. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.082>.

Copernicus. (2021). Copernicus: los registros muestran que 2020 ha sido el año más caluroso en Europa y el más caluroso junto con 2016 a escala mundial. https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/2021-02/C3S%20Annualtempdata%202020_final_ES.pdf

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (11 de agosto del 2015). *Cambio climático: ¿Qué es y en qué se diferencia del calentamiento global?* [http://dncc.mades.gov.py/archives/noticias/cambio-climatico-que-es-y-en-que-se-diferencia-del-calentamiento-global#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20Cambio%20Clim%C3%A1tico,de%20Estados%20Unidos%20\(EPA\).](http://dncc.mades.gov.py/archives/noticias/cambio-climatico-que-es-y-en-que-se-diferencia-del-calentamiento-global#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20Cambio%20Clim%C3%A1tico,de%20Estados%20Unidos%20(EPA).)

Ecoinventos (2021). *Cómo hacer un invernadero paso a paso*. <https://ecoinventos.com/como-hacer-un-invernadero-paso-a-paso/>

EY. (2019). Perú es el quinto país más atractivo de Latinoamérica en energías renovables. https://www.ey.com/es_pe/news/2019/07/peru-es-el-quinto-pais-mas-atractivo-de-latinoamerica-en-energia

Fernández, A. y Martínez, J. (2004) *Cambio climático: una visión desde México*.

Ciudad de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. <https://www.iies.unam.mx/wp-content/uploads/2016/03/Victor-Jaramillo-Cambio-Climatico-Una-Vision-desde-Mexico-.pdf>

Flores Condori, A. (2014). Construcción de una vivienda solar en base a las propiedades termo físicas y evaluación experimental de su confort térmico en llave. Revista Investigativa Alto andina, 16 N°1, 177-186. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5893905&fbclid=IwAR35dVkwHBiwTCq2ZT-AZVkr0AqVdUH6s-agx8hx-R2gfCuXURRi6ZHuC48>

FONDECYT (13 de diciembre del 2016). Perú: diseñan viviendas bioclimáticas contra las heladas en Puno. *Ciencia al día*. <https://fondecyt.gob.pe/ciencia-al-dia/cientificos-utilizan-tecnicas-naturales-para-mejorar-la-produccion-del-frijol-peruano-3>

Gavin Schmidt. (2010): *Taking the Measure of the Greenhouse Effect*. National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies. https://www.giss.nasa.gov/research/briefs/2010_schmidt_05/#:~:text=Taking%20the%20Measure%20of%20the%20Greenhouse%20Effect,-By%20Gavin%20Schmidt&text=The%20size%20of%20the%20greenhouse,albedo%2C%20around%2033%C2%B0C.

Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Ministerior de Vivienda, Construcción y Saneamiento y Programa Nacional de Vivienda Rural. (2016). ABRIGANDO HOGARES: Experiencias con medidas de confort térmico en viviendas rurales alto andinas. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). <https://issuu.com/melissakatherynpalma/docs/abrigando-hogares>

González, E. (1997). Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática. Instituto de investigaciones de la facultad de Arquitectura y diseño (IFAD) de la Universidad de Zulia. https://www.academia.edu/18215888/SELECCION_DE_MATERIALES_EN_LA_CONCEPCION_ARQUITECTONICA_BIOCLIM%3%81TICA

Grupo Alzado. (septiembre de 2017). *Climatización pasiva*. Muros Trombe. Grupo Alzado. <http://grupalzado.com/climatizacion-pasiva-muros-trombe/>

Grupo de Apoyo al Sector Rural PUCP (GRUPO PUCP). (2016). *K'ONICHUYAWASI*.

<https://cdn01.pucp.education/gruporural/2017/02/28213421/friaje-diptico1.pdf>

Incropera, F. y Dewitt, D. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. School of mechanical engineering Purdue University.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI). (2017). *Características de las viviendas censadas*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/parte01.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI). (2020). *Mapa de pobreza monetaria provincial y distrital 2018*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1718/Libro.pdf

Lestina, Thomas; Serth, Robert W. (2010). *Process Heat Transfer: Principles, Applications and Rules of Thumb*. Academic Press

Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F., Sabio-Ortega, A. y García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal confort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736-755.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115003652>

Martin, A. (2015). *Apuntes de Transmisión del Calor*. Creative commons.

<http://oa.upm.es/37245/1/amd-apuntes-transmision-calor-v2.6.pdf>

Ministerio del ambiente (MINAM). (2019). *¿QUÉ SON LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y CÓMO FUNCIONARÍAN EN PERÚ?*

<https://iimp.org.pe/promocion-minera/que-son-las-energias-renovables-y-como-funcionarian-en-peru>

Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2020). *Anuario ejecutivo de Electricidad* 2019.

<http://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=614>

Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2020). *Principales indicadores del*

sector eléctrico a nivel nacional febrero 2020.
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Cifras%20preliminares%20del%20Sector%20Electrico%20-%20Enero%202020-V5.pdf>

MINISTERIO DE SALUD (MINSA). (2019). *Boletín epidemiológico del Perú (Volumen 28 – SE 49)*. Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades.
<http://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/boletines/2019/49.pdf>

MOCICC. (2020). *Potencial energético del Perú*.
<https://www.mocicc.org/noticias/potencial-energetico-del-peru/>

Moncloa, C. (2017). Confort Térmico: Un sistema aislante para la vivienda Alto Andina fabricado con materiales reciclados. *MODULO ARQUITECTURA-CUC*, vol. 18, no. 1, pp. 73-90. DOI: 10.17981/mod.arq.cuc.18.1.2017.04

OSINERGMIN. (2014). *Generación Eléctrica con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales en el Perú*.
https://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Publico/cop20/uploads/Oct_2014_Generacion_Electrica_RER_No_Convencionales_Peru.pdf

Placitelli, C. (2016). Muros dobles de adobe.
https://www.academia.edu/34853590/MUROS_DOBLES_DE_ADOBE

Posada, A. (2015). *Viviendas construidas con llantas viejas en Choachí*. Semana.
<https://www.semana.com/vida-moderna/articulo/viviendas-construidas-con-llantas-viejas-en-choachi/422356-3/>

PRESIDENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS (PCM). (2019). *Plan multisectorial ante heladas y friaje 2019-2021*.
https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/289512/Plan_Multisectorial_ante_Heladas_y_Friaje_2019_-_2021.pdf

Rodríguez-Larraín, S., Onnis, S. y Vargas-Neumann, J. (2016). *N° 135 - Transferencia tecnológica para la vivienda alto-andina*.
<https://pucp.academia.edu/SofiaRodriguezLarrain>

Rodríguez-Larraín, S., Onnis, S., Meli, G. y Loayza León, S. (2018). *Modelo de transferencia tecnológica para la vivienda alto andina*.

<https://files.pucp.education/facultad/arquitectura/2019/11/28182423/2018-SIACOT-Onnis-Rodr%C3%ADguez-Larra%C3%ADn-Meli-Loayza.pdf>

Sanchez-Montañez, Benito (2014). *Arquitectura bioclimática: conceptos y técnicas*. *Ecohabitar*. <https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/>

SENAMHI. (2003). *Atlas de energía solar del Perú*. https://www.senamhi.gob.pe/pdf/atlas_solar.pdf

SENAMHI. (2018). *Un buen clima. Glosario de términos meteorológicos*. SENAMHI. https://issuu.com/senamhi_peru/docs/glosario

Serway, Raymond A.; Faughn, Jerry S. (2001). *Física*. Pearson Educación. ISBN 9789702600152.

SolarInter. (2019). *¿Cuánto CO2 se ahorra con la energía solar?* <http://solarinter.com.mx/2019/07/25/cuanto-co2-se-ahorra-con-la-energia-solar/>

Tejada, U. (2017). *Buena Tierra: Apuntes para el diseño y construcción con quincha*. Centro de Investigación, Documentación y Acceso Poblacional.

UNAM (01 de junio del 2020). *Actividad solar a la baja ¿Nos afectará?* *Ciencia UNAM*. <http://ciencia.unam.mx/leer/1004/actividad-solar-a-la-baja-nos-afectara->

Urone, P. (2012). *College Physics*. Openstax

U.S. Global Change Research Program (USGCRP). (2017). *Climate Science Special Report. Chapter 12: Sea Level Rise*. <https://science2017.globalchange.gov/chapter/12/>

U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2020). *The science behind the polar vortex: You might want to put on a sweater*. https://www.noaa.gov/multimedia/infographic/science-behind-polar-vortex-you-might-want-to-put-on-sweater?utm_source=realityhub.climaterealityproject.org&utm_medium=email&utm_campaign=website

Vaca, I. (2017). *Casas de botellas: la segunda oportunidad de las personas en situación de pobreza en Bolivia*. Muhimu. <https://muhimu.es/comunidad/casas-botellas-plastico-bolivia/>

Vergara, E. (2014). *Re-visitando tradiciones constructivas: al rescate de la Quincha*. Archdaily. <https://www.archdaily.pe/pe/02-333349/en-detalle-revisitando-tradiciones-constructivas-al-rescate-de-la-quincha>

Wieser, M., Onnis, S. y Meli, G. (2018). *Conductividad térmica de la tierra alivianada con fibras naturales en paneles de quincha*. <https://files.pucp.education/facultad/arquitectura/2019/11/27173426/2018-SIACOT-Wieser-Onnis-Meli.pdf>

