

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



INFLUENCIAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE Y SISTEMAS DE CALEFACCIÓN SOLAR EN UN MÓDULO BIOCLIMÁTICO PARA UNA AULA ESCOLAR DE POLOBAYA SOBRE EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO MEDIANTE EL USO DE SIMULACIONES DINÁMICAS

Tesis Presentada por:

Chauca Cuellar, Luz Maria

Para optar el título profesional de:

Ingeniera Mecánica

Asesor:

Dr. Fernández Barriga, Camilo Grimaldo

AREQUIPA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a toda mi familia, en especial a mis padres por su apoyo incondicional, amor y cariño.

Agradecimientos

En el presente trabajo de tesis me gustaría agradecer a Dios por bendecirme y permitirme llegar hasta donde he llegado. A la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, por el financiamiento del proyecto de investigación según contrato N° IAI-018-2018-UNSA. A mi asesor externo el Mgtr. Juan Omar Molina Fuertes por su crítica y enfoque en el desarrollo de mi tesis. A mi equipo de investigación dirigido por el Doc. José Luis Valentín Galdós Gómez. Al Bach. Américo Valdivia del Carpio por su apoyo y colaboración en el proyecto de investigación y a mi asesor el Doc. Camilo Fernández Barriga.

Resumen

La presente tesis muestra el análisis de las influencias de las características de la envolvente y los sistemas de calefacción solar en la propuesta de diseño de un módulo de aula escolar para lo cual se hace el uso del programa EnergyPlus 8.4 como herramienta de cálculo para determinar la temperatura interior de un módulo de aula bioclimático como indicador principal de análisis y la demanda de energía que éste requiere en horas extremas de heladas para lograr encontrarse dentro de la zona de bienestar térmico según modelo adaptativo para el Centro Poblado de Uzuña-Polobaya en Arequipa a 3269 msnm considerado una de las zonas más frías de la región.

El diseño del módulo de aula bioclimático se modeló en 3D y creó las zonas térmicas en programas como SketchUp y OpenStudio.

La concepción del diseño del módulo se realizó en base a un diagnóstico in-situ en Uzuña - Polobaya de la forma de aula educativa y uso de materiales, seleccionada a partir de algunas instituciones de la zona meso andina de Arequipa. Tal es así, que la metodología de la presente tesis se basa en un modelo inicial referencial denominado módulo típico (MT), al cual se fueron adicionando mejoras de aislamiento pasivo en techos, paredes, y piso, e integrando sobre su envolvente sistemas de climatización pasiva como claraboyas y una pre-cámara adosada.

Se considera como análisis de estudio en julio como el mes más extremo para Uzuña-Polobaya de acuerdo al archivo de clima para un año meteorológico típico generado con el programa Meteonorm, donde, la temperatura horaria promedio para dicho día es de 9°C con una oscilación térmica de 13,16°C, y la radiación solar de 6.08 kWh/(m²día).

En vista de lo anterior se pretende aprovechar dicha energía para suplir el requerimiento energético del módulo mejorado. El módulo con las técnicas bioclimáticas actuales aplicadas por el estado, requiere en promedio máx. 2.36 KWh diario en un rango de 7am-3 pm que es el horario de funcionamiento de la institución. El módulo mejorado 1 requiere 0.75 KWh y el módulo mejorado 2, 0.72KWh, considerando un ahorro respecto a lo que existe en la actualidad.

Palabras claves: Conceptos bioclimáticos, Zona rural Mesoandina, Heladas, Bienestar térmico.

Abstract

This thesis shows the analysis of the influences of the characteristics of the envelope and the solar heating systems in the design proposal of a school classroom module for which the EnergyPlus 8.4 program is used as a calculation tool to determine the interior temperature of a bioclimatic classroom module as the main indicator of analysis and the energy demand that it requires in extreme hours of frost to be within the thermal comfort zone according to the adaptive model for the Uzuña-Polobaya Population Center in Arequipa. 3269 msnm considered one of the coldest areas in the region.

The design of the bioclimatic classroom module was modeled in 3D and created the thermal zones in programs such as SketchUp and OpenStudio.

The conception of the module design was carried out based on an in-situ diagnosis in Uzuña - Polobaya of the form of educational classroom and use of materials, selected from some institutions in the Meso-Andean area of Arequipa. So much so, that the methodology of this thesis is based on an initial referential model called the typical module (MT), to which passive insulation improvements were added on ceilings, walls, and floors, and integrating air conditioning systems on its envelope. passive as skylights and an attached pre-chamber.

As a study analysis, July is considered the most extreme month for Uzuña-Polobaya according to the climate file for a typical meteorological year generated with the Meteororm program, where the average hourly temperature for said day is 9°C with a thermal oscillation of 13.16°C, and solar radiation of 6.08 kWh/(m²day).

In view of the above, it is intended to take advantage of said energy to supply the energy requirement of the improved module. The module with the current bioclimatic techniques applied by the state, requires on average max. 2.36 kWh daily in a range from 7am-3pm, which is the institution's operating hours. The improved module 1 requires 0.75 kWh and the improved module 2, 0.72kWh, considering a saving compared to what currently exists.

Keywords: Bioclimatic concepts, Mesoandean rural area, Frost, Thermal well-being.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract.....	v
Índice de contenidos	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de tablas	xi
Introducción.....	xii
1 Capítulo I: Planteamiento de la investigación	1
1.1 Identificación del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	1
1.2.1 Problema principal.....	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Justificación (social, técnica).....	2
1.4.1 Justificación Técnica	2
1.4.2 Justificación social	2
1.5 Limitaciones de la investigación	3
1.6 Operacionalización de variables	3
2 Capítulo II. Marco teórico.....	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Bases teóricas.....	9
2.2.1 Clima.....	9
2.2.2 Confort térmico	12
2.2.3 Modelos de transferencia de calor	17
2.2.4 Transferencia dependiente del tiempo	19
2.2.5 Transferencia independiente del tiempo o estado estacionario	20
2.2.6 Simulación dinámica en transferencia de calor	20
2.2.7 Balance energético	21
3 Capítulo III. Metodología de la Investigación	23
3.1 Tipo investigación cuantitativo.....	23
3.2 Alcance descriptivo.....	23
3.3 Diseño no experimental	23

3.4	Técnicas e instrumentos de investigación	23
3.5	Método.....	24
3.5.1	Población	24
3.5.2	Muestra	24
3.5.3	Diagnosticar el clima de Polobaya referido a temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación.	25
3.5.4	Determinar las técnicas bioclimáticas pasivas para el módulo mediante el método de Givonni.	26
3.5.5	Identificar los materiales con mayor idoneidad en la envolvente de módulo de aula bioclimática.	26
3.5.6	Determinar el diseño de módulo de aula bioclimática.	26
3.5.7	Simular las estrategias bioclimáticas para el aula empleando Energy Plus y determinar el rendimiento energético.....	27
4	Capítulo IV. Desarrollo de la Investigación	28
4.1	Levantamiento de información.	28
4.1.1	Inicial Uzuña 1480416 – UZUÑA	30
4.2	Descripción de Uzuña-Polobaya	30
4.3	Disponibilidad y diagnóstico con datos climáticos de Polobaya – Uzuña	31
4.3.1	Temperatura.....	32
4.3.2	humedad relativa (Hr)	34
4.3.3	Dirección del viento.....	36
4.3.4	velocidad del viento.....	37
4.3.5	Precipitación.....	38
4.3.6	Radiación solar	39
4.4	Metodología para definir las recomendaciones bioclimáticas para el diseño de aula bioclimático.....	40
4.4.1	Diagrama de Givoni	40
4.1	Análisis de la envolvente a partir de su transmitancia térmica para la escuela Pronei Uzuña (Norma EM110).....	43
4.2	Consideraciones de diseño para módulo de aula bioclimático.....	45
4.2.1	Normas, estándares y documentos:	45
4.2.2	Dimensionamiento	46
4.2.3	Técnicas bioclimáticas aplicadas a la envolvente.....	50
4.3	Modelamiento y simulación dinámica.....	54
4.3.1	Modelado con SketchUp y Euclid	54
4.3.2	Ingreso de datos al EP Launch e IDF Editor del EnergyPlus.....	54
4.3.3	Variables de salidas de la simulación.....	60

4.4	Resultados y análisis del comportamiento térmico energético del módulo bioclimático	62
4.4.1	Comportamiento térmico del diseño de módulo bioclimático	64
4.4.2	Requerimiento energético MT y MM2 para alcanzar una temperatura de bienestar térmico	75
	Conclusiones	81
	Recomendaciones	83
	Referencias bibliográficas.....	84
	Anexos.....	86

Índice de Figuras

Figura 1.	Modelado de un módulo experimental de vivienda	7
Figura 2.	Módulo con invernadero adosado y su comportamiento térmico simulado.....	8
Figura 3.	Mapa de clasificación climática del Perú	9
Figura 4.	UVI potencial para el invierno	11
Figura 5.	Rosa de viento	12
Figura 6.	Diagrama psicrométrico Givonni	14
Figura 7.	Esquema Estrategias bioclimáticas y relación con las técnicas bioclimáticas y bienestar térmico.	17
Figura 8.	Síntesis de factores bioclimáticos.....	25
Figura 9.	Ubicación de Uzuña - Polobaya	30
Figura 10.	Ubicación zona geográfica Inicial Uzuña 1480416	31
Figura 11.	Ubicación estación.....	32
Figura 12.	temperaturas promedios mensuales diarias características en Polobaya	33
Figura 13.	Temperaturas promedio horarios mensuales características en Polobaya	34
Figura 14.	Humedad relativa horaria mensual	35
Figura 15.	Humedad relativa vs temperatura para meses de bajas temperaturas.....	36
Figura 16.	orientación del viento según rangos de velocidades	37
Figura 17.	Velocidad del viento promedio mensual máxima y mínima	38
Figura 18.	Precipitación en Uzuña-Polobaya, temporada pluvial	38
Figura 19.	Disponibilidad solar	39
Figura 20.	Diagrama psicrométrico o de Givoni para Uzuña.	41
Figura 21.	Vista de planta de la escuela	47
Figura 22.	Inclinación y medidas exteriores	48
Figura 23.	Vista de Planta de propuesta de diseño de aula bioclimática.....	48
Figura 24.	Vista de corte x-x de propuesta de diseño de aula bioclimática	49
Figura 25.	Configuración del piso aislado	50
Figura 26.	Configuración de ventana de módulo mejorado 1 y 2.....	52
Figura 27.	Vista de planta e isométrico de módulo mejorado 2.....	53
Figura 28.	ventana IDF Editor accesible desde el EP Launch	55
Figura 29.	Ventana IDF Editor del EnergyPlus.	56
Figura 30.	Campo para el control de la simulación.....	56
Figura 31.	Campo para ingresar los parámetros del edificio.	57
Figura 32.	Campo para ingresar la localización de los módulos.	57
Figura 33.	materiales y sus propiedades termo físicas	58
Figura 34.	Campo de creación de construcciones.	58

Figura 35.	Campo de ingreso de las superficies.....	59
Figura 36.	Campo de ingreso de las subsuperficies	59
Figura 37.	Campo de ingreso de las infiltraciones de aire (ACH).	59
Figura 38.	Campo de ingreso para termostatos	60
Figura 39.	Campo de selección de las variables de salida para temperaturas y humedad.	60
Figura 40.	Campo de selección de las variables de salida de energía.	61
Figura 41.	Vistas modificadas en SketchUp de los módulos	63
Figura 42.	Temperatura promedio horaria interior (TI) para el MT y exterior (TE).	64
Figura 43.	Infiltraciones del aula MT	66
Figura 44.	Temperatura horaria interior, MM1 (Ti).....	67
Figura 45.	Infiltraciones de Módulo mejorado 1	68
Figura 46.	Comportamiento de la temperatura interior (Ti) horaria del MT y MM1 frente a la temperatura exterior (To).	69
Figura 47.	Temperatura horaria, interior (Ti) y exterior (To) para el MM2.....	70
Figura 48.	Temperaturas horarias, interior (Ti), exterior (To), ático (Tático) y precámara (Tprec), para el mes de julio.	71
Figura 49.	Infiltraciones de Módulo mejorado 2	72
Figura 50.	Temperatura horaria interior para el módulo típico, MM1 Y MM2.....	73
Figura 51.	Temperatura interior (Ti) horaria y límites de la zona de bienestar térmico en el MT .	76
Figura 52.	Requerimiento de energía de calefacción horaria (Ecalef) para el MT a 18.5°C.	77
Figura 53.	Requerimiento de energía de calefacción horaria	77
Figura 54.	Temperatura interior (Ti) horaria y límites de la zona de bienestar térmico en el MM2.. ..	78
Figura 55.	Requerimiento de energía de calefacción horaria (Ecalef) para el MM2 a 18.5°C.....	79
Figura 56.	Requerimiento de energía de calefacción horaria (Ecalef) para el MT	79

Índice de tablas

Tabla 1.	Operacionalización de variables	3
Tabla 2.	Zona de bienestar térmico humano	13
Tabla 3.	Valores de b y m para la construcción de modelos térmicos.....	15
Tabla 4.	Amplitud de la zona de confort para diferentes rangos	16
Tabla 5.	Data climatológica de Uzuña- Polobaya	25
Tabla 6.	transmitancias térmicas	26
Tabla 7.	Cuadro comparativo de características físicas de las escuelas visitadas.....	29
Tabla 8.	Temperaturas características de Polobaya	33
Tabla 9.	Estrategias de diseño según diagrama de Givoni utilizando Climate Consultant.....	42
Tabla 10.	Transmitancias térmicas máximas según zonas bioclimática	43
Tabla 11.	Transmitancias térmicas para el colegio de Uzuña.....	44
Tabla 12.	azimut y altura.....	46
Tabla 13.	Cálculo para dimensionamiento de ventanas de propuesta de aula bioclimático.....	49
Tabla 14.	Dimensiones de ventanas de módulo bioclimático	50
Tabla 15.	Tabla de configuración de pared según tipo de módulo.....	51
Tabla 16.	Espesor de material para módulo.....	51
Tabla 17.	Tabla de configuración de techo según tipo de módulo.....	52
Tabla 18.	Estructuración de ventanas	52
Tabla 19.	Oscilación y retardo térmico para el MT.	65
Tabla 20.	Oscilación y retardo térmico para el MT1.....	67
Tabla 21.	Oscilación y retardo térmico para el MM2 con techo y falso techo, y pre-cámara	72
Tabla 22.	Resumen de valores de TI en los módulos y TE para cualquier día del mes de julio.	74
Tabla 23.	Resumen del requerimiento de energía de calefacción en el MT, MM1 y MM2.....	80

Introducción

Hasta la actualidad, año tras año entre los meses de junio y agosto principalmente, son noticias de cada día las consecuencias que causa el fenómeno climatológico de la “helada” y frío extremo en las diferentes zonas altoandinas del país.

Ante esta situación y para reducir las consecuencias como las enfermedades respiratorias, una alternativa es que el estado ponga más énfasis en la aplicación de nuevas técnicas bioclimáticas al momento de construir aulas educativas y donde las fuentes naturales de energía como la solar, sean consideradas de manera obligatoria en la etapa de diseño debido a que en las zonas altoandinas y principalmente al Sur del país la radiación solar bordea anualmente los 6kWh/m²día (Horn, M., 2006).

Esta tesis comprende cuatro capítulos:

Capítulo 1: Planteamiento de la investigación. -En este capítulo se aborda el problema encontrado en las instituciones educativas ubicadas en las zonas meso andinas de Arequipa, proponiendo objetivos para plantear una posible solución.

Capítulo 2: Marco Teórico. -En este capítulo se plasma toda la investigación bibliográfica realizada de proyectos anteriormente realizados y de mayor relevancia para el tema de tesis, bases teóricas y definiciones conceptuales.

Capítulo 3: Metodología de la investigación. -En este capítulo se realiza el planteamiento metodológico que comprende el tipo, alcance y diseño de la investigación y también se redacta las fases de la investigación escribiendo las herramientas a emplear.

Capítulo 4: Desarrollo de la investigación. -En este capítulo se plasma toda la investigación sintetizando la data en cada fase del proyecto de investigación.

Capítulo I: Planteamiento de la investigación

1.1 Identificación del problema

Una de las principales problemáticas que afecta a la sierra peruana son los efectos del frío entre los meses de junio y julio para los pueblos ubicados a 3500 metros de altura sobre el nivel del mar: se congela el agua de los riachuelos y las tuberías, los cultivos, los animales, la propia gente; se pierden las cosechas, las pequeñas inversiones, la comida, la mínima esperanza. La vida se vuelve gélida, desoladora, difícil. (Cruz, 2016).

Los departamentos que presenta bajas temperaturas de manera más frecuente e intensa son la región de Arequipa, Tacna, Moquegua, Cusco, Ayacucho, Huancavelica, Pasco, Junín y Apurímac con un promedio de temperaturas mínimas de 22°C a 11°C por ingreso de aire frío. (SENAMHI 2022- Perú, s. f.)

Principalmente en Arequipa es que abordamos el problema que afecta a los pobladores de la sierra en general y sobre todo los niños, específicamente en las horas de estudio, actividad que realizan en aulas que no cuentan con una envolvente o calefacción que permita conservar el confort térmico. INDECI (2016) refiere "*Más del 30% de la población que vive en zonas afectadas por heladas está en edad vulnerable, s. f.*" (párr. 3).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema principal

¿Se podrá analizar las influencias de las características de la envolvente y los sistemas de calefacción solar en una propuesta de diseño de módulo de aula escolar de Polobaya sobre el rendimiento energético mediante el uso de simulaciones dinámicas?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar las influencias de las características de la envolvente y los sistemas de calefacción solar en una propuesta de diseño de un módulo de aula escolar de la región de Polobaya sobre el rendimiento energético mediante el uso de simulaciones dinámicas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el clima de Polobaya referido a temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación.
- Determinar las técnicas bioclimáticas pasivas para el módulo mediante el método de Givonni.
- Identificar los materiales con mayor idoneidad en la envolvente de módulo de aula bioclimática.
- Determinar el diseño de módulo de aula bioclimática.
- Simular las estrategias bioclimáticas para el aula empleando Energy Plus y determinar el rendimiento energético.

1.4 Justificación (social, técnica)

1.4.1 Justificación Técnica

El presente estudio nos permite viabilizar el proceso de diseño de un módulo bioclimático para cualquier lugar que se pretenda mejorar el confort térmico.

Se usarán técnicas y programas que harán más exacto el diseño como el método de Givoni y el software Energy plus.

1.4.2 Justificación social

Es importante la investigación presente para dar a conocer a las diferentes instituciones públicas y privadas que, al momento de realizar un proyecto de construcción, tanto de casas como colegios tomar en cuenta las necesidades de un diseño de aula que se encuentre en zonas alto andinas por condiciones de afección del frío.

1.5 Limitaciones de la investigación

La presente investigación sólo se centra en la propuesta de diseño de aula bioclimática de un aula ubicada 3000-4000 msnm en Polobaya, Arequipa.

1.6 Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Diseño de un módulo de aula bioclimática	Es un recinto construido o acondicionado para proveer el confort térmico o bienestar térmico y que cumple con los requisitos constructivos y de funcionamiento de un aula educativa.	Ficha de observación: En base a la ficha se recolecta información de las aulas referente a las estrategias bioclimáticas.	Diseño bioclimático	Temperatura interna
		Recolección Documental: Normativa técnica		Bienestar térmico

*Nota. Operacionalización de variables, elaboración propia en base a la investigación realizada.
Fuente: Elaboración Propia*

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Antecedentes

Revista: Guzmán (2018). Situación Clima/Energética En Localidades De La Prov. De Córdoba, Evaluación De Vivienda Tipo; Simulaciones Con Diferentes Envoltentes Y Orientaciones, Y Propuesta De Adecuación Térmica, Utilizando Muros Trombe U Otras Formas De Energía Solar Pasiva, Arquitecto, Córdoba-Argentina.

En la investigación el objetivo principal fue determinar la cantidad de energía necesaria para lograr una situación de confort en el interior de las viviendas, se toma en cuenta el enfoque de grados días de calefacción y refrigeración. Para ello se tomó datos de base proporcionados por la norma IRAM 11603, la cual determina los grados días de quince localizaciones de la provincia de Córdoba. Con relación al estudio realizado sobre los grados días han logrado ampliar el espectro de datos proporcionados por la norma IRAM 11603 (1996), incorporando un número mayor de localidades en base a las cuales se podrán trazar líneas de isobaras con relación a los grados días, lo que permitió un mayor grado de precisión a la hora de diseñar la arquitectura, teniendo en cuenta esta variable, en posterior de la construcción de un hábitat más confortable y sustentable. Esta investigación resulta ser importante porque utiliza el análisis de grados días la cual se utiliza en la presente tesis.

Artículo: Raimondi (2020). Evaluación del confort higrotérmico de una escuela rural y su rediseño, en Silipica- Santiago del estero, Revista Pensum. Santiago del Estero.

En la investigación el objetivo es proponer un rediseño en la envolvente de un edificio escolar rural. Se utilizó una combinación metodológica, descriptiva, experimental y analítica para el diagnóstico del comportamiento del caso de estudio, Se analizaron los datos obtenidos en la campaña de auditoria higrotérmica realizando evaluaciones subjetivas (observación, encuestas en sitio) y objetivas (monitoreo higrotérmico y simulación térmica, verificación de las normas IRAM). se concluyó que, con los ajustes en la envolvente térmica, puede lograrse un desempeño edilicio eficiente y el nivel recomendado de confort interior en aulas.

Revista: gallego, J. D. G., & Plazas, J. P. A. (2019). Proceso de optimización en el diseño de sistema de calefacción solar pasivo. In Memorias del Congreso Internacional I+ D+ i-Sostenibilidad Energética (Vol. 1, No. 1, pp. 142-156). Colombia.

En la investigación el objetivo es definir la solución óptima de un sistema de captación solar pasiva adherible a las construcciones existentes, con el fin de mejorar las condiciones de confort higrotérmico interior, Para encontrar la solución óptima para el área de estudio, se integraron simulaciones térmicas dinámicas empleando EnergyPlus, se realizó un trabajo paramétrico, con estudios de caso en el clima del altiplano Cundiboyacense en Bogotá, Colombia. La metodología paramétrica propuesta permitió simular un número mayor de escenarios a los normalmente trabajados en los procesos de verificación energética de proyectos arquitectónicos. Además, se demostró que la implementación de herramientas como energy plus es de gran utilidad en la definición de alternativas de diseño que lleven a edificaciones de un alto desempeño térmico y energético, en procura del cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible lo cual también se consideró en la presente tesis.

Tesis: Molina (2018). Uso del programa EnergyPlus para la simulación del consumo energético de un módulo bioclimático ubicado en Imata, Arequipa a 4519 msnm. Universidad nacional de ingeniería. Imata.

En la investigación el objetivo general es Diseñar, simular y proponer un módulo experimental bioclimático mediante el programa de modelación térmica dinámica EnergyPlus para caracterizar su desempeño térmico, para el Centro Poblado de Imata en Arequipa a 4519 msnm considerado la zona más fría de la región. De los resultados obtenidos permiten conocer el sobredimensionamiento energético cuando se consideran rangos de bienestar térmico estandarizados de otras latitudes donde por el propio clima, costumbres, fisiología, y economía, son distintos a la realidad Andina.

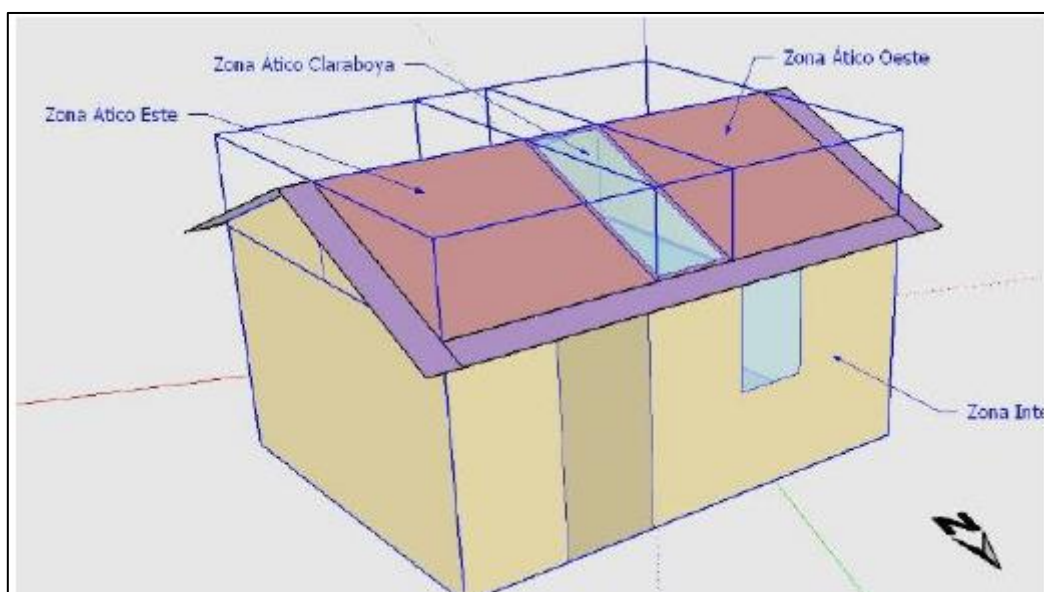
Artículo: Guillermina (2021). Mejoras de eficiencia energética en calefacción. potencial de intervención en edificio escolar existente del área metropolitana de san juan, argentina. Revista Hábitat Sustentable. Argentina.

En la investigación el objetivo es analizar el potencial de intervención en un edificio escolar y las mejoras en eficiencia energética se evalúan a través de simulación dinámica y se calculan indicadores respecto al consumo anual de energía calefacción, El edificio a evaluar pertenece al programa nacional 700 escuelas. Los resultados alcanzados pueden servir de referencia para la rehabilitación de 71 edificios escolares erigidos en la provincia de san juan entre los años 2004 y 2015, los cuales responden a una tipología constructiva con similitudes de materialización de la envolvente y configuración funcional.

Artículo: Pablo Ratache-Rojas, Manfred Horn-Mutschler, Cesar Rivasplata-Cabanillas, Mónica Gómez-León (2021). Simulación del consumo energético para la calefacción de un módulo de vivienda experimental ubicado a 4500 msnm, Perú. Revista Scielo Analytics.

En el presente trabajo se simula la demanda energética en un módulo de vivienda experimental construido en el poblado de Imata, Perú, ubicado a 4500 msnm. Previo a esto se desarrollaron las mediciones de temperatura y los cálculos energéticos necesarios para validar el modelo de simulación con el programa EnergyPlus. La predicción de la simulación indica que se necesita en un año 3,54 MWh, con un máximo diario de 11 kWh en julio y un mínimo diario de 8,4 kWh en diciembre (promedios mensuales), para mantener una temperatura neutra de 12 °C y 15 °C respectivamente.

Figura 1. Modelado de un módulo experimental de vivienda



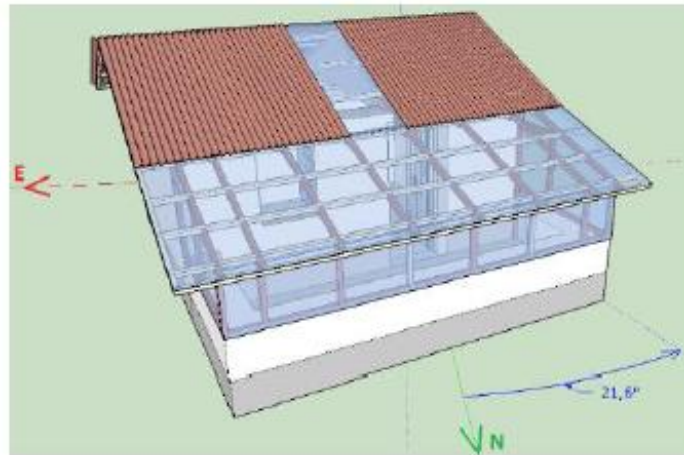
Modelado de un módulo experimental de vivienda (MEV) sin invernadero adosado en 3D elaborado con SketchUp y ubicación de zonas térmicas. Fuente: Manfred Horn 2021

Artículo: Martín Ponce-Gonzales, Juan Molina-Fuertes, Manfred Horn-Mutschler, Mónica Gómez-León¹ (2021). Evaluación térmica de modificaciones en las envolventes de módulos experimentales ubicados en el centro poblado de Imata (4519 msnm), Arequipa, Perú. Revista Scielo Analytics.

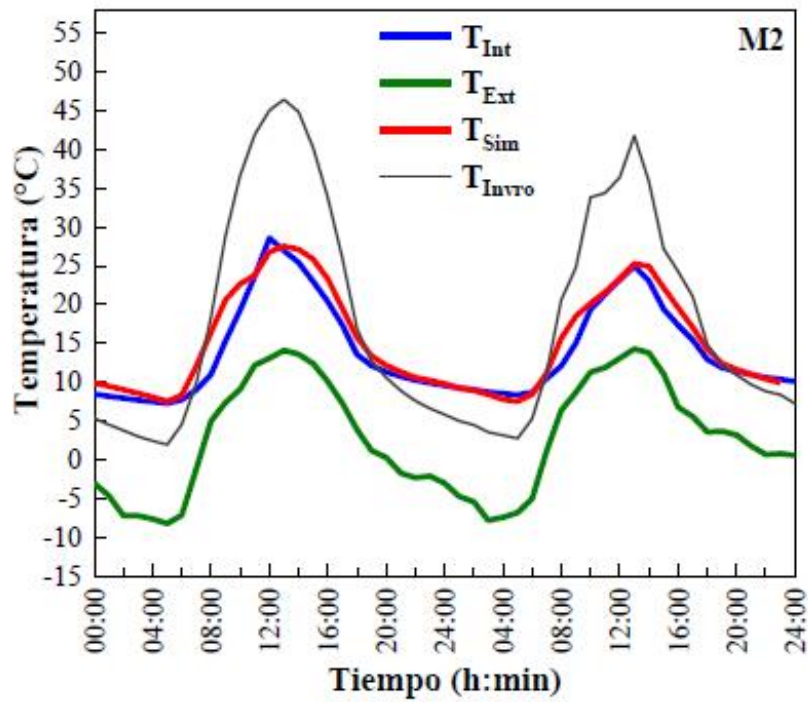
En la investigación el objetivo principal fue analizar los diversos aportes energéticos térmicos y dinámicos de las distintas propuestas de modificación realizadas a las envolventes de dos módulos habitacionales experimentales construidos en la localidad de Imata, Arequipa, a 4519 msnm. El registro de datos consistió en medir la temperatura del aire interior del invernadero conectado al módulo y registrar datos meteorológicos del exterior utilizando la Estación Davis en la Municipalidad de Imata.

Los resultados obtenidos muestran los aportes de las modificaciones y técnicas bioclimáticas realizadas, como en el caso de los invernaderos conectados, y son apropiados y efectivos en las zonas alto andinas debido al potencial del sol.

Figura 2. Módulo con invernadero adosado y su comportamiento térmico simulado.



(a)



(b)

(a) Representación del M2 en su estado final en SketchUp, (b) Temperatura horaria en el interior del módulo, T_{Int} (línea sólida azul), Temperatura simulada, T_{Sim} (línea sólida roja), temperatura exterior T_{Ext} (línea sólida verde) y temperatura en el invernadero, T_{Invro} (línea negra sólida), del 05 al 06 de diciembre.

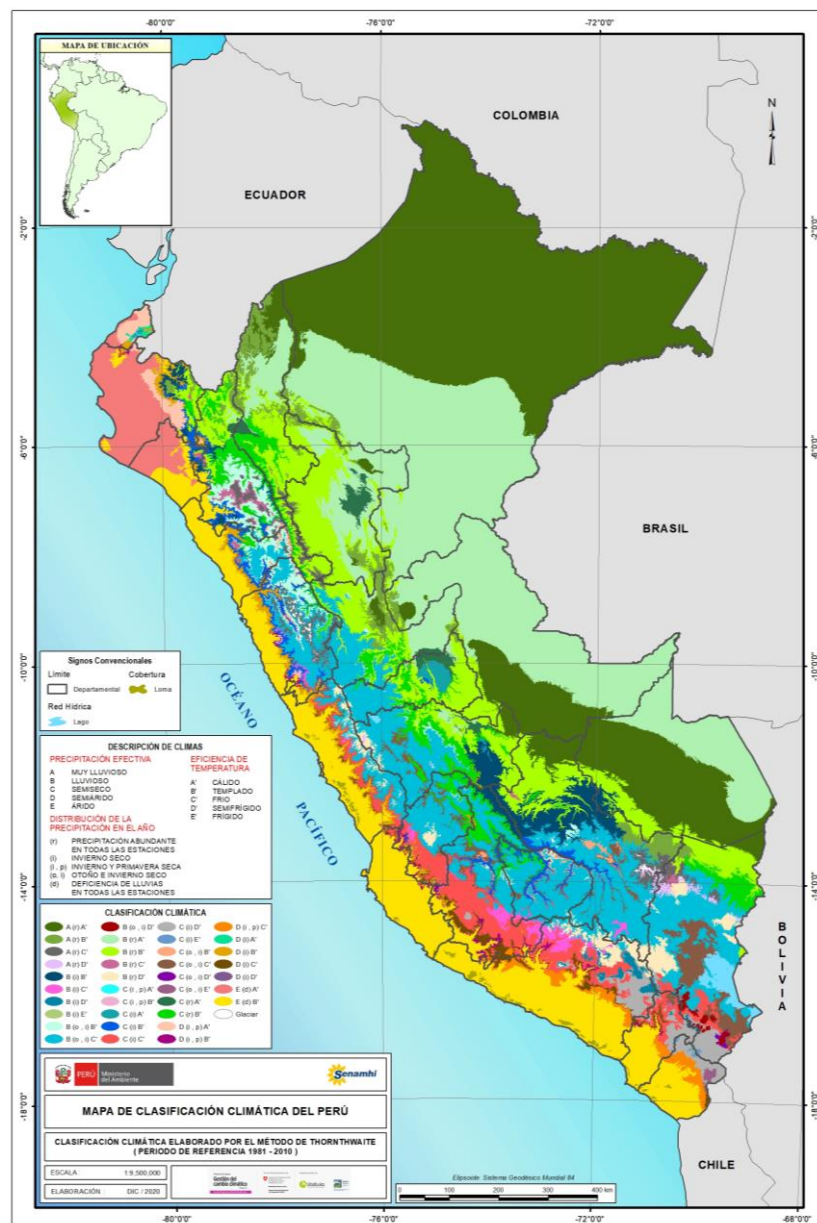
Fuente: Martín 2021

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Clima

Es el promedio del estado del tiempo o descripción estadística del tiempo en términos de valores medios y de variabilidad de las cantidades de interés durante periodos de varios decenios normalmente. Este factor aborda directamente al confort del hombre principalmente en salud, el clima se describe mediante cuatro principales factores: temperatura, radiación, viento y humedad (Morillón et al., 2002).

Figura 3. Mapa de clasificación climática del Perú



*Nota: Mapa del Perú, clasificación del tipo de clima.
Fuente: (SENAMHI 2020)*

2.2.1.1 Factores bioclimáticos

A. Temperatura

Propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico. Definición de temperatura se deriva de la idea de medir el calor o frío relativos y de la observación de que el suministro de calor a un cuerpo conlleva un aumento de su temperatura mientras no se produzca la fusión o ebullición. En el caso de dos cuerpos con temperaturas diferentes, el calor fluye del más caliente al más frío, hasta que sus temperaturas sean idénticas y se alcance el equilibrio térmico (Alvarino & Bautista, 2016).

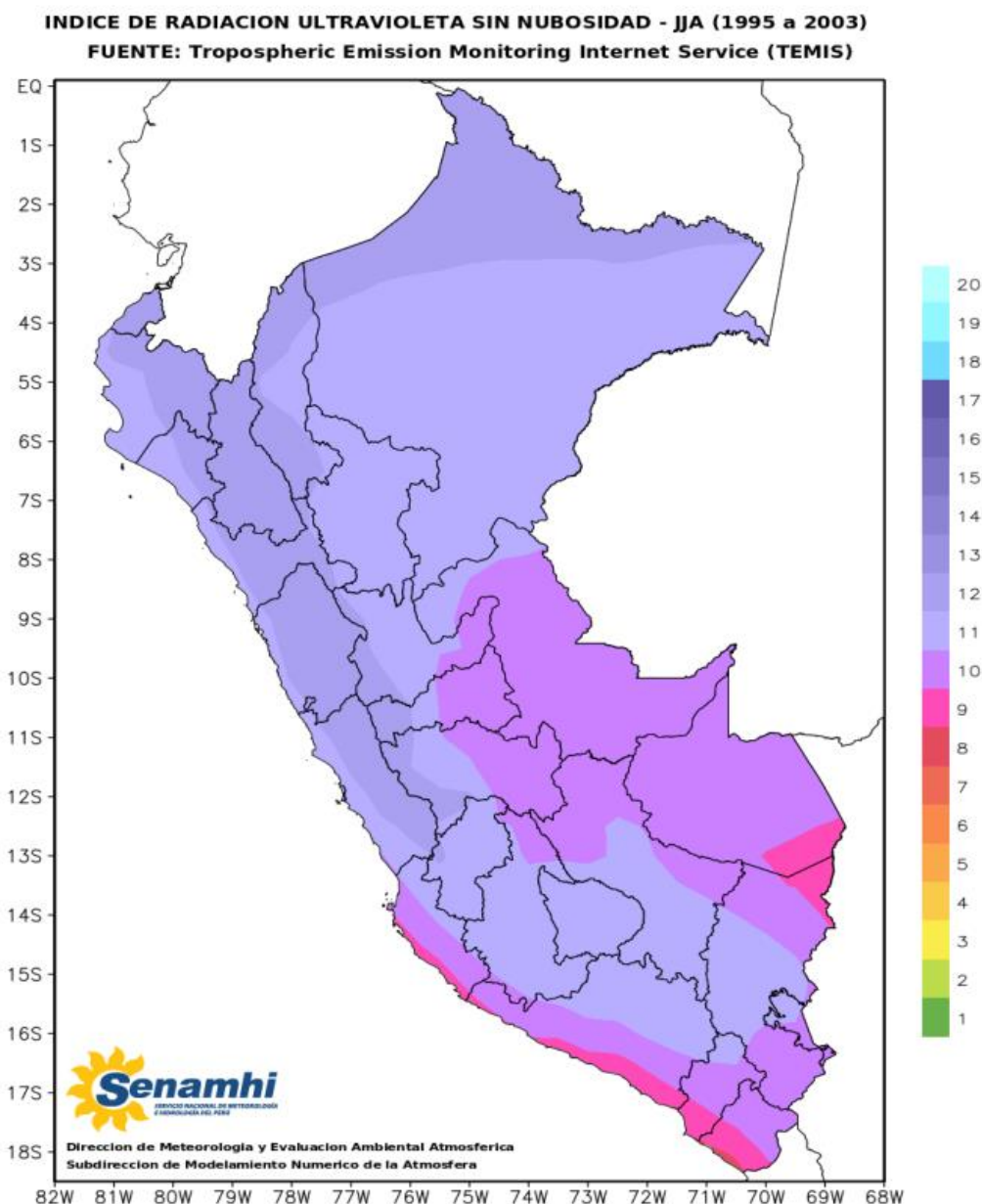
B. Humedad relativa

La humedad relativa es una medida que permite saber qué tan húmedo o seco se encuentra el aire. Se expresa en unidades enteras correspondiendo el 0 (cero) a la sequedad absoluta y el 100% a la saturación. Los instrumentos utilizados para determinar la humedad o el contenido de vapor de agua de la atmósfera son el psicrómetro y el hidrógrafo (Gaitan & Bautista, 1993).

C. Radiación solar

La radiación solar es la causa de todos los fenómenos meteorológicos y procesos que ocurren en la atmósfera. Los rayos del sol que llegan a la tierra pueden traspasar la atmósfera y caer en forma directa al suelo; por esta razón se llama radiación solar directa. Cuando hay nubes, polvo y otras clases de impurezas en la atmósfera, los rayos solares son obligados a pasar a través de esos obstáculos y no llegan en forma directa al suelo. Esta radiación recibe el nombre de radiación solar difusa (Gaitan & Bautista, 1993).

Figura 4. UVI potencial para el invierno

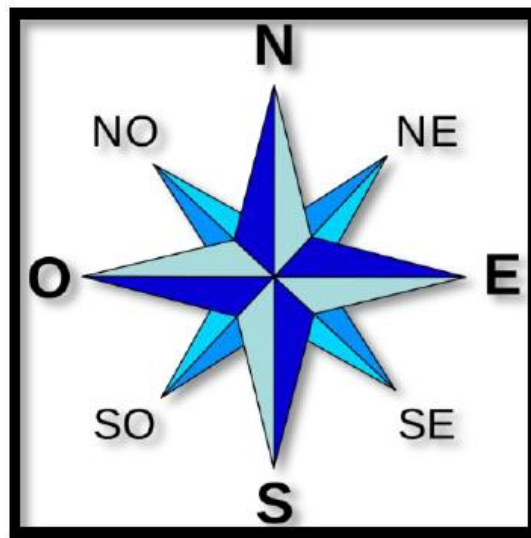


Nota: UVI potencial para el invierno (cielo despejado)
Fuente: SENAMHI (1995-2003)

D. Dirección del viento

La dirección del viento es aquella de donde sopla. Se expresa en grados, contados a partir del norte geográfico, en el sentido de las manecillas del reloj. Las distintas direcciones del viento están referidas a la rosa de los vientos que señala los puntos cardinales. En las estaciones climatológicas se observa la dirección del viento refiriéndola a una rosa de 8 direcciones (Gaitan & Bautista, 1993).

Figura 5. Rosa de viento



*Nota: Rosa de viento de ocho direcciones
Fuente: (Gaitan & Bautista, 1993)*

2.2.2 Confort térmico

El hombre siempre se ha esforzado por crear un ambiente térmicamente cómodo. Es la sensación subjetiva de calor o frío, la cual depende de la intensidad con que estén funcionando los recursos de termorregulación, los cuales a su vez dependen de un limitado número de variables micro climáticas (Morillón et al., 2002).

2.2.2.1 Bioclima

Es la asociación de elementos meteorológicos que contribuyen en la sensación de bienestar fisiológico. Elementos como temperatura del aire (o del bulbo seco), humedad (relativa, específica, absoluta o presión de vapor), radiación solar (duración, intensidad y calidad), viento (dirección, velocidad y frecuencia), y temperatura de radiación (la del entorno físico interior), así como condiciones de confort higrotérmico del usuario del recinto (Morillón et al., 2002).

2.2.2.2 Zona de bienestar térmico

Para zonas andinas la zona de bienestar térmico es un tema carente aun de investigación, específicamente en Perú dado que depende del clima. Ante ello, lo que generalmente se hace, es tomar zonas de bienestar de otras latitudes los cuales han sido estandarizados y se toman como “referencias”.

La finalidad del estudio de los índices térmicos, es llegar a establecer, las condiciones en las que el individuo expresa satisfacción térmica con el ambiente o, por el contrario, la ausencia de esas condiciones. Existen diferentes autores como se muestra en la **tabla 2** (Molina Fuertes, 2018).

Tabla 2. Zona de bienestar térmico humano

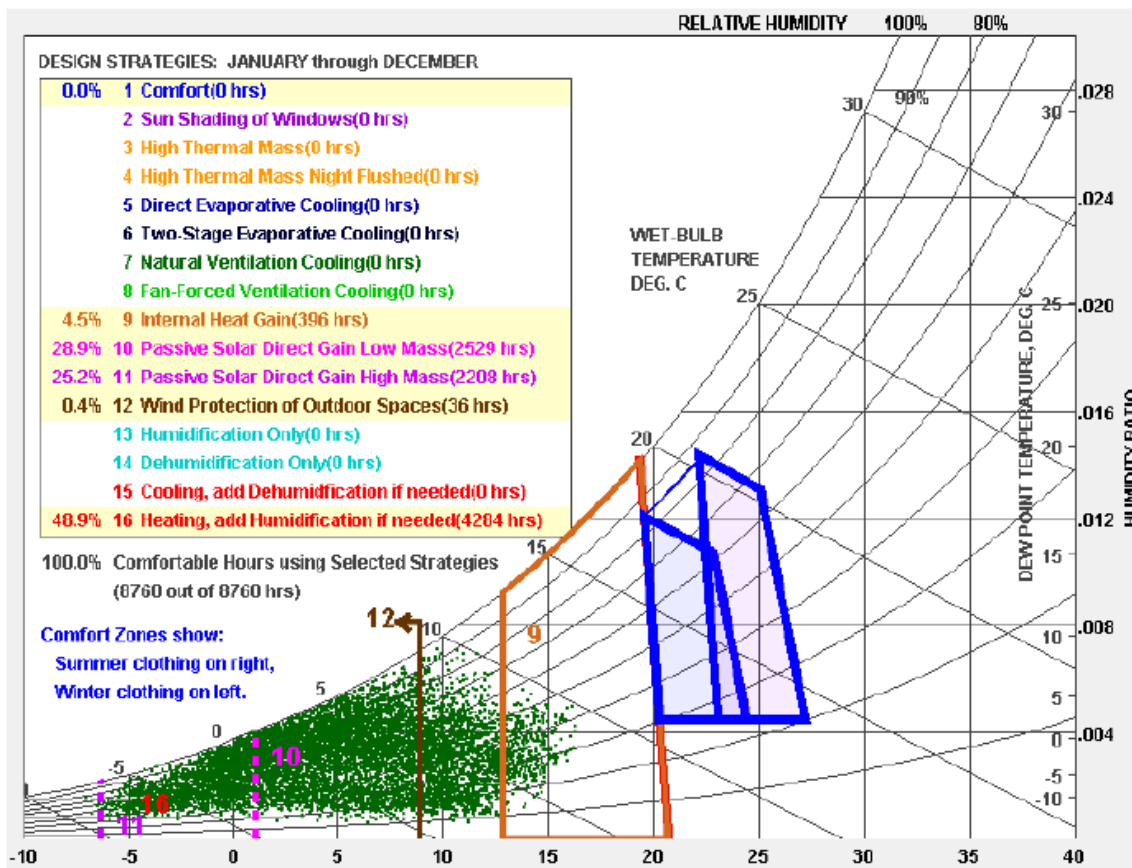
Autores	Límites de temperatura	Límites de humedad	Observación
1. B. Givoni	21°C – 26°C	5 – 17 mmhg	Bienestar óptimo límite máximo permisible
2. V. Olgyay	23,9°C – 29,5°C	20% - 75%	Trópicos
3. Ashrae	22,2°C – 26,6°C	4 mmhg	Bienestar óptimo
4. Yaglou dinker	18,8°C – 23,8°C	30% - 70%	Usa verano
5. Koeningsberger y otros	22°C – 27°C	30% - 70%	Trópicos
6. C.e. brooks	23,3°C – 29,4°C	30% - 70%	Trópicos
Zona propuesta de bienestar térmico	22°C	27% - 75%	Límite inferior
	29°C	20% - 40%	límite superior
	26°C	20% - 17mm hg	límite máximo presión de vapor

*Nota: Zona de bienestar térmico humano
Fuente: (Gonzales, e., 1986).*

2.2.2.3 Carta bioclimática de Givoni

Se trata de un diagrama que relaciona múltiples parámetros tales como; temperatura, punto de rocío, entalpía específica o calor total, calor sensible, calor latente, humedad relativa, humedad absoluta y volumen específico del aire. Este diagrama traza una zona de confort térmico y propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de estrategias de diseño pasivo ,pero fuera de estas zonas se vuelve necesario el uso de sistemas termo-mecánicos (Pozo Leña, 2011).

Figura 6. Diagrama psicrométrico Givoni



*Nota. Diagrama psicrométrico para Imata elaborado con Climate Consultant 6.0
Fuente: ("Climate Consultant," n.d.).*

2.2.2.4 Mediciones del bienestar térmico

A. Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo o predictivo se centra en la sensación de confort a un balance de energía entre el individuo y el entorno con ello provee mantener controlado los parámetros físicos que afectan la preferencia térmica de las personas, generalizando los resultados, asumiendo que todas las personas en diferentes latitudes prefieren las mismas temperaturas (Molina Fuertes, 2018).

B. Enfoque cualitativo

El enfoque cualitativo del confort térmico no parte de la consideración del intercambio de calor entre el cuerpo y el medio ambiente, sino de la observación de que existe una serie de acciones que el ser humano puede realizar para lograr este confort térmico. (Nicol & Humphreys, 2002)

El objetivo metodológico de este método es básicamente encontrar la forma de desentrañar las relaciones entre los factores que componen el objeto de estudio, cuyos resultados no necesariamente constituyen fenómenos regulares, es por ello que se considera holístico y tiende a analizar. (Gómez-Azpeitia et al., 2007)

Aunque en algunos casos se han desarrollado modelos de regresión exponencial como el de Nicol y Roaf (1996), por lo regular se obtienen a partir de procesos de regresión lineal, por lo que suelen tener la forma de la ecuación de las rectas:

$$T_n = b + m (T_{em})$$

Donde:

T_n = Temperatura de neutralidad o confort.

B = Punto donde la recta de regresión corta el eje de las ordenadas.

m = Pendiente de la recta de regresión.

T_{em} = Temperatura exterior promedio.

Tabla 3. Valores de b y m para la construcción de modelos térmicos

Autor	b	M
Humphreys (1976)	11.9	0.534
Auliciems (1981)	17.6	0.31
Griffiths (1990)	12.1	0.534
Nicol et al. (1993)	17.0	0.38
Brager -De Dear (1998)	17.8	0.31
Humphreys - Nicol (2000)	13.5	0.54

*Nota. Valores de b y m para la construcción de modelos térmicos.
Fuente: (Gómez-Azpeitia et al., 2007)*

La temperatura neutra, neutral o de neutralidad como se le conoce por diferentes autores, varía de lugar a lugar e igualmente de estación a estación, como una función de la media mensual de la temperatura exterior (T_m).

Para calcular la amplitud de la zona de confort, empezamos por determinar la oscilación media de la temperatura del aire, bastará con encontrar la diferencia entre los dos primeros datos climáticos mostrados: la media máxima y mínima promedio del mes. A continuación, se determina la amplitud de la zona de confort utilizando la **tabla 4**, Esta amplitud centrada alrededor de T_n , define los límites de la zona de confort. (Morillón et al., 2002)

Tabla 4. Amplitud de la zona de confort para diferentes rangos

Oscilación media anual de la temperatura del aire en °C	Amplitud de la zona de confort en °TEC
Menos de 13	2.5
13-15	3.0
16-18	3.5
19-23	4.0
24-27	4.5
28-32	5.0
33-37	5.5
38-44	6.0
45-51	6.5
más de 51	7.0

Nota. Amplitud de la zona de confort para diferentes rangos de oscilación de la temperatura media anual. Fuente:(Morillón et al., 2002)

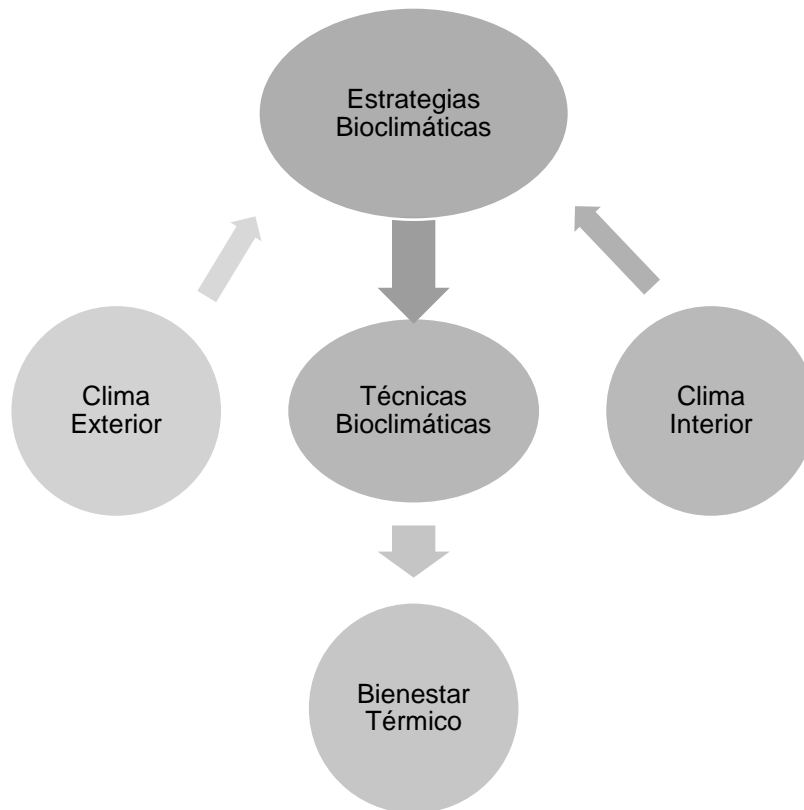
Para el caso de estudio, por ejemplo, Uzuña -Polobaya, dado a que los resultados y análisis se basarán en el mes más frío o extremo del año como es el julio, la temperatura de bienestar o de neutralidad térmica según modelo Humphreys y Nicol es $T_n=15^{\circ}\text{C}$, considerando la temperatura exterior media mensual para julio de 9.2°C (ver **Tabla 8**). Asimismo, dado a que la oscilación de la temperatura exterior para Uzuña Polobaya en el mes de julio es de 15.5°C , la amplitud de la temperatura de bienestar según la **Tabla 4** para esta zona es, 3°C .

2.2.2.5 Estrategias bioclimáticas

Son el conjunto de procedimientos que se consideran para la adecuación de un recinto que tienen en cuenta las condiciones climáticas, geográficos, sociales y la interacción de esta con el medio ambiente. Las estrategias bioclimáticas acercan al recinto a tener un bienestar térmico para reducir el consumo energético.

Representación del proceso de determinación de estrategias bioclimáticas y su relación con las técnicas bioclimáticas y el bienestar térmico (Espinoza et al., 2015).

Figura 7. Esquema Estrategias bioclimáticas y relación con las técnicas bioclimáticas y bienestar térmico.



Nota. Conceptos bioclimáticos y su aplicabilidad a la zona rural altoandina: caso comunidad san francisco de Raymina (sfr)-Ayacucho. Fuente: (Espinoza et al., 2015)

2.2.2.6 Técnicas bioclimáticas

Es el vehículo para la entrega de estrategias bioclimáticas. El uso del índice bioclimático, para un ambiente dado, identifica el conjunto de estrategias bioclimáticas utilizadas para lograr el bienestar térmico de las personas que realizan sus actividades en el ambiente en cuestión. La correcta interpretación de las estrategias bioclimáticas dará como resultado técnicas bioclimáticas que deben aplicarse en un recinto determinado para que pueda proporcionar confort térmico a los ocupantes. (Gómez-Azpeitia et al., 2007)

2.2.3 Modelos de transferencia de calor

La ciencia de la transferencia de calor explica cómo puede ser transferida la energía calorífica y a su vez pretende determinar la rapidez a la que se realizará este intercambio bajo ciertas condiciones, es por ello que la ciencia de la transferencia de calor proporciona reglas experimentales adicionales que se pueden utilizar para establecer rapidez de transferencia de energía (Holman, 2003).

2.2.3.1 Conducción

Según (Yunus Cengel & Afshin Ghajar, 2015) La conducción es “ la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases.” (p.17). El mismo autor define la ecuación de transferencia de calor por conducción como:

$$\dot{Q} = -K.A.\frac{dT}{dx}$$

Donde:

$\frac{dT}{dx}$: Gradiente de temperatura

K: conductividad Térmica

A: Área de transferencia de calor

La ecuación anterior se define como la **ley de Fourier** y el signo menos garantiza que la transferencia de calor en la dirección x positiva sea una cantidad positiva.

2.2.3.2 Convección

Según el texto (Yunus Cengel & Afshin Ghajar, 2015) define :

La convección es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. (p. 25)

Y podemos diferenciar dos mecanismos como:

A. Convección natural

La convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido

Se presenta a continuación la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = h.A_s.(T_s - T_{\infty})$$

Donde:

h: coeficiente de transferencia de calor por convección.

A_s : Área de transferencia de calor.

T_s : temperatura de la superficie de transferencia de calor

T_{∞} : Temperatura suficientemente lejos

B. Convección forzada

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento.

2.2.3.3 Radiación

Según (Yunus Cengel & Afshin Ghajar, 2015) :

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio intervector.

$$\dot{Q} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s \cdot T_s^4.$$

Donde:

ε : emisividad de la superficie.

σ : constante de Stefan-Boltzmann.

A_s : Área de transferencia de calor.

T_s : temperatura de la superficie de transferencia de calor

2.2.4 Transferencia dependiente del tiempo

Cuando la amplitud máxima a mínimo de la oscilación de la temperatura del aire al exterior no es pequeña con respecto a la diferencia de temperatura media entre el exterior y la temperatura media del interior y la radiación solar es importante, se debe hacer un análisis dependiente del tiempo. (Huelsz et al., 2009)

Para analizar la transferencia de calor a través de un elemento compuesto por N capas de materiales, se emplea para cada j-ésima capa, la ecuación de conducción de calor en una dimensión dependiente del tiempo.

$$\frac{\delta T_j}{\delta X} - \alpha_j \frac{\delta^2 T_j}{\delta X^2} = 0$$

Esta ecuación describe la variación de la temperatura dentro de la j-ésima capa T_j como función del tiempo t y de la posición transversal al muro x . El coeficiente α_j es la difusividad térmica del material de la j-ésima capa (m^2/s) y se define como la relación entre la conductividad térmica k y la capacidad de almacenamiento térmico o capacidad calorífica del material $C_j = \rho_j c_j$

$$\alpha_j = \frac{K_j}{C_j} = \frac{K_j}{\rho_j C_j},$$

donde, ρ_j es la densidad (kg/m^3) y c_j es el calor específico ($J/kg^\circ C$).

2.2.5 Transferencia independiente del tiempo o estado estacionario

Cuando la amplitud máxima a mínimo de la oscilación de la temperatura del aire al exterior es pequeña con respecto a la diferencia de la temperatura media del interior y la radiación solar es poco importante. (Huelsz et al., 2009)

Se puede analizar la transferencia de calor a través de un elemento compuesto por N capas de materiales, cada una de espesor L_j , empleando para cada j-ésima capa, la ecuación de conducción de calor en una dimensión independiente del tiempo.

$$\frac{d}{dx} \left(K_j \frac{dT}{dx} \right) = 0$$

Donde, K_j es la conductividad térmica de la j-ésima capa ($W/m^\circ C$).

2.2.6 Simulación dinámica en transferencia de calor

2.2.6.1 Trimble sketch Up

Según (SketchUp, 2022) define :

Es un software de diseño gráfico y modelado 3D utilizado en arquitectura, ingeniería, diseño industrial, etc. Se caracteriza por su facilidad de uso y ofrece un amplio abanico de posibilidades para diseñar. En la presente tesis se utiliza como base del proyecto, para definir la geometría del modelo, la composición y definición de los espacios interiores, la orientación y colocación de puertas y ventanas necesarias.

2.2.6.2 OpenStudio

Según (OpenStudio, 2022) define :

Es una aplicación gratuita que te permite modelar edificios usando Sketch Up y luego simularlos usando EnergyPlus. Se trata de un potente paquete de software que incluye un completo conjunto de herramientas de simulación que nos ayudarán a optimizar el diseño de cualquier tipo de edificio.

2.2.6.3 EnergyPlus

Según (Energyplus, 2022) Define:

Es un programa completo de simulación de energía de edificios que ingenieros, arquitectos e investigadores utilizan para modelar tanto el consumo de energía (para calefacción, refrigeración, ventilación, etc.), la iluminación y los enchufes y procesos de carga) como el uso de agua en los edificios. Algunas características y capacidades notables de EnergyPlus incluyen:

Solución integrada y simultanea

Solución basada en balance de calor

Modelo combinado de transferencia de calor y masa

EnergyPlus es un programa basado en consola que lee la entrada y escribe la salida en archivos de texto. Viene con una serie de utilidades, incluido IDF-Editor para crear archivos de entrada utilizando una interfaz de hoja de cálculo simple, EP-Launch para administrar archivos de entrada y salida, realizar simulaciones por lotes y EP-Compare para comparaciones gráficas del resultado de dos o más.

2.2.7 Balance energético

El balance térmico es la cuantificación de la cantidad de calor que debe ser absorbida o suministrada a un espacio climatizado, es la relación de entrada y salida (ganancia y pérdida) de calor para mantener el ambiente interior de tener lugar bajo cierta temperatura y condiciones de humedad definidas para el confort o para un proceso industrial.

El recinto tenderá a calentarse cuando la ganancia de calor supere a la pérdida, y a enfriarse cuando ocurra lo contrario. En cualquier caso, el ambiente interno puede

llegar a condiciones desagradables, requiriendo resistencia al sistema de aire acondicionado (calefacción o refrigeración).(Molina Fuertes et al., 2020)

Capítulo III. Metodología de la Investigación

3.1 Tipo investigación cuantitativo

Según (Hernández Sampieri, 2014) define :

Refleja la necesidad de medir y estimar magnitudes de los fenómenos o problemas de investigación.

Una vez planteado el problema de estudio, el investigador o investigadora considera lo que se ha investigado anteriormente (la revisión de la literatura) y construye un marco teórico (la teoría que habrá de guiar su estudio), del cual deriva una o varias hipótesis (cuestiones que va a examinar si son ciertas o no) y las somete a prueba mediante el empleo de los diseños de investigación apropiados.

Si los resultados corroboran las hipótesis o son congruentes con éstas, se aporta evidencia a su favor. Si se refutan, se descartan en busca de mejores explicaciones y nuevas hipótesis. Al apoyar las hipótesis se genera confianza en la teoría que las sustenta. Si no es así, se rechazan las hipótesis y, eventualmente, la teoría.

3.2 Alcance descriptivo

Según (Hernández Sampieri, 2014) define :

Estos estudios tienen como principal función especificar las propiedades, características, perfil es de grupos, comunidades, objeto o cualquier fenómeno, se recolectan datos de la variable de estudio y se miden mas no se manipula.

3.3 Diseño no experimental

Según (Arias Gonzales, 2020) define:

En este diseño no hay estímulos o condiciones experimentales a las que se sometan las variables de estudio, los sujetos del estudio son estudiados en su contexto natural sin alterar ninguna situación, así mismo, no se manipulan las variables de estudio.

Específicamente será mediante ensayo y error por simulaciones dinámicas.

3.4 Técnicas e instrumentos de investigación

Observación: Como primer paso se tiene que realizar el levantamiento de información de las características físicas de la infraestructura del aula en la actualidad, para lo cual se realizó visitas a diferentes instituciones educativas Meso andinas de Arequipa.

Documentos: Se revisó las normas y guías indicadas por el ministerio de educación para la construcción de aulas bioclimáticas.

Entrevistas: Se conversó con una autoridad de cada colegio según el formato de entrevista.

Página web: En vista de que no se podía medir la temperatura externa del lugar por todo un año, se acudió al SENAMHI y se ubicó la estación meteorológica más cercana a la muestra seleccionada y se descargó los factores bioclimáticos de los últimos 20 años para las simulaciones.

3.5 Método

3.5.1 Población

Se consideró como población el siguiente listado instituciones educativas, ya que tienen en común encontrarse en zona Mesoandina de Arequipa:

- Escuela 40189 – PIACA – Pocsi
- Escuela 40216 – Huayllacucho – San Juan de Tarucani
- Escuela 40215 – Agua Buena – Polobaya
- Escuela 40604– San Juan de uzuña – Polobaya
- Escuela 40196– San Juan de Tarucani – San Juan de Tarucani
- Inicial Uzuña 1480416 - UZUÑA

3.5.2 Muestra

Se eligió la institución que cuente con más técnicas bioclimáticas en la infraestructura, para que a partir de ahí se realicen mejoras, ya que los que no cuentan con uno e incluso ninguna técnica bioclimática no se puede considerar un ambiente apto para un buen desempeño académico del alumno ya que todos ellos se encuentran en condiciones climáticas muy frías.

- Inicial Uzuña 1480416 - UZUÑA

3.5.3 Diagnosticar el clima de Polobaya referido a temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación.

Una vez seleccionada el colegio con más técnicas bioclimáticas, se realiza un diagnóstico climático de Polobaya – uzuña con datos descargados del SENAMHI.

Se sintetiza la información descargada (**Tabla 5**), obteniendo los factores bioclimáticos mínimos y máximos (**Figura 8**).

Tabla 5. Data climatológica de Uzuña- Polobaya

DÍA	HORA	(°C)	(mm/hora)	(%)	VIENTO (°)	(m/s)
01/12/2019	00:00	9.50	0.00	45.00	110.00	4.3
01/12/2019	01:00	10.10	0	40.00	84.00	3
01/12/2019	02:00	8.70	0	38.00	78.00	2.1
01/12/2019	03:00	8.10	0	53.00	132.00	3.6
01/12/2019	04:00	8.90	0	52.00	118.00	3.4
01/12/2019	05:00	9.70	0	54.00	102.00	2.8
01/12/2019	06:00	9.60	0	59.00	109.00	4.5
01/12/2019	07:00	13.00	0	44.00	119.00	5.2
01/12/2019	08:00	15.10	0	28.00	134.00	8.5
01/12/2019	09:00	15.50	0	28.00	131.00	10.5
01/12/2019	10:00	16.40	0	27.00	136.00	8.5
01/12/2019	11:00	16.90	0	27.00	130.00	8.7
01/12/2019	12:00	17.60	0	32.00	156.00	5.1
01/12/2019	13:00	18.7	0	32.00	218.00	6.3
01/12/2019	14:00	18.8	0	35.00	180.00	3.1
01/12/2019	15:00	17.4	0	43.00	279.00	3.7
01/12/2019	16:00	16.1	0	47.00	191.00	3.3
01/12/2019	17:00	15.1	0	49.00	204.00	2.1
01/12/2019	18:00	13.3	0	58.00	289.00	3.8
01/12/2019	19:00	10.6	0	69.00	319.00	2.4
01/12/2019	20:00	9.2	0	77.00	52.00	1.1
01/12/2019	21:00	9.4	0	82.00	127.00	2.9
01/12/2019	22:00	9.9	0	75.00	136.00	4.2
01/12/2019	23:00	9.3	0	70.00	73.00	3.8
02/12/2019	00:00	7.5	0	76.00	92.00	1.9
02/12/2019	01:00	6.9	0	83.00	122.00	2.4
02/12/2019	02:00	6.1	0	86.00	121.00	2.7
02/12/2019	03:00	5.7	0	86.00	115.00	2

*Nota. Data climatológica de Uzuña Polobaya.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

Figura 8. Síntesis de factores bioclimáticos

FECHA	Tmax	PREC.max	HR.max	DIR.max	Veloc.max	FECHA	Tmin	PREC.min	HR.min	DIR.min	Veloc.min
01-dic	18.8	0.0	82.0	319.0	10.5	01-dic	8.1	0.0	27.0	52.0	1.1
02-dic	20.5	0.0	86.0	217.0	6.2	02-dic	5.2	0.0	24.0	63.0	0.9
03-dic	19.0	0.0	86.0	358.0	7.1	03-dic	5.7	0.0	29.0	96.0	0.8
04-dic	19.2	0.0	83.0	341.0	6.9	04-dic	4.9	0.0	32.0	84.0	0.4
05-dic	17.6	0.0	100.0	338.0	6.2	05-dic	4.5	0.0	35.0	1.0	0.9
06-dic	16.8	0.0	100.0	323.0	4.6	06-dic	3.2	0.0	46.0	29.0	0.8
07-dic	17.4	0.0	96.0	342.0	5.9	07-dic	4.5	0.0	40.0	64.0	0.5
						08-dic	3.6	0.0	40.0	84.0	1.0

*Nota. Síntesis de factores bioclimáticos de Uzuña -Polobaya.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

3.5.4 Determinar las técnicas bioclimáticas pasivas para el módulo mediante el método de Givoni.

El método Givoni se usará para determinar las técnicas bioclimáticas que se pueden usar en la nueva propuesta de diseño mejorado.

Se recurre al software *Climate Consultant 6.0* que en su entorno de trabajo considera el diagrama psicrométrico de Givoni representado con 16 estrategias de diseño. Para obtener dicho diagrama y usar el *Climate Consultant*, se tiene que disponer de un archivo de clima para un año típico meteorológico de por lo menos 20 años, en el presente estudio se dispone de dicho archivo de clima para Uzuña generado con el software *Meteonorm*.

3.5.5 Identificar los materiales con mayor idoneidad en la envolvente de módulo de aula bioclimática.

Al tener las propuestas de técnicas bioclimáticas obtenidas por el método Givoni, se selecciona los materiales con mejor comportamiento bioclimático.

Tabla 6. transmitancias térmicas

Componentes Constructivos	Materiales	Espesor (M)	K (W/m°C)	R (m²°C/W)	U (W/m²°C)
Piso	Tierra	x	x	x	
	Concreto	x	x	x	
	Cámara aire	x	-	x	x
	madera	x	x	x	
	1/hi+1/he	-	-	x	

*Nota. transmitancias térmicas del colegio Uzuña.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

3.5.6 Determinar el diseño de módulo de aula bioclimática.

Según las normas y guías se considera las medidas mínimas que debe tener el aula educativa que se diseñara en las condiciones climáticas de uzuña – Polobaya y la aplicación de mejoras en la envolvente y técnicas bioclimáticas.

Se diseñaron dos propuestas y el aula actual para realizar mejor las comparaciones.

3.5.7 Simular las estrategias bioclimáticas para el aula empleando Energy Plus y determinar el rendimiento energético.

Una vez culminadas los diseños se simularon en el programa energy plus, seleccionando el que mejor confort térmico tenga y finalmente determinar el rendimiento energético.

Capítulo IV. Desarrollo de la Investigación

4.1 Levantamiento de información.

Se ha realizado una visita técnica a diferentes instituciones educativas de la serranía Arequipeña que se presenta a continuación:

Tabla 7. Cuadro comparativo de características físicas de las escuelas visitadas

Institución	Características físicas - Materiales						
	Pared	Techo	Falso Techo	Piso	Ventana	Puerta	Inclinación De Techo
Escuela 40189 – PIACA – Pocsi	ladrillo	ladrillo	-	cemento	metal y vidrio simple	metal y vidrio simple	NO
Escuela 40216 – Huayllacucho – San Juan de Tarucani	ladrillo	calamina, listones de madera	-	cemento	metal y vidrio simple	metal y vidrio simple	SI
Escuela 40215 – Agua Buena – Polobaya	ladrillo	Calamina, listones de madera	placas de yeso	madera	metal y vidrio simple	metal y vidrio simple	SI
Escuela 40604– San Juan de uzuña – Polobaya	Placa de yeso	Calamina, listones de madera	-	cemento	metal y vidrio simple	metal	SI
Escuela 40196– San Juan de Tarucani – San Juan de Tarucani	adobe	Calamina, listones de madera	-	madera	metal y vidrio simple	metal y vidrio simple	SI
Inicial Uzuña 1480416 - UZUÑA	ladrillo	Calamina, listones de madera	placas de yeso	madera	metal y vidrio simple	metal y vidrio simple	SI

*Nota. características físicas de las escuelas visitadas.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.1.1 Inicial Uzuña 1480416 – UZUÑA

La institución Inicial Uzuña 1480416 – UZUÑA, fue seleccionada por las siguientes razones:

- Cuenta con la mayor cantidad de técnicas bioclimáticas aplicadas por el estado.
- Cuenta con la inclinación al norte más cercana.
- Las condiciones climáticas son extremas
- La institución con más alumnado en un solo ambiente
- El alumnado es de 3 – 5 años

4.2 Descripción de Uzuña-Polobaya

Este centro poblado SAN JOSE DE UZUÑA pertenece al distrito de POLOBAYA, su provincia es AREQUIPA y se encuentra dentro del departamento de AREQUIPA. Está ubicada en las siguientes coordenadas: latitud -16.588949 y longitud -71.309492. La Latitud es la medida angular de la distancia entre un punto de referencia y el Ecuador, y puede estar hacia el norte o hacia el sur.

Figura 9. Ubicación de Uzuña - Polobaya



*Nota. Ubicación de la población Uzuña Polobaya.
Fuente: Google maps (2021)*

Figura 10. Ubicación zona geográfica Inicial Uzuña 1480416

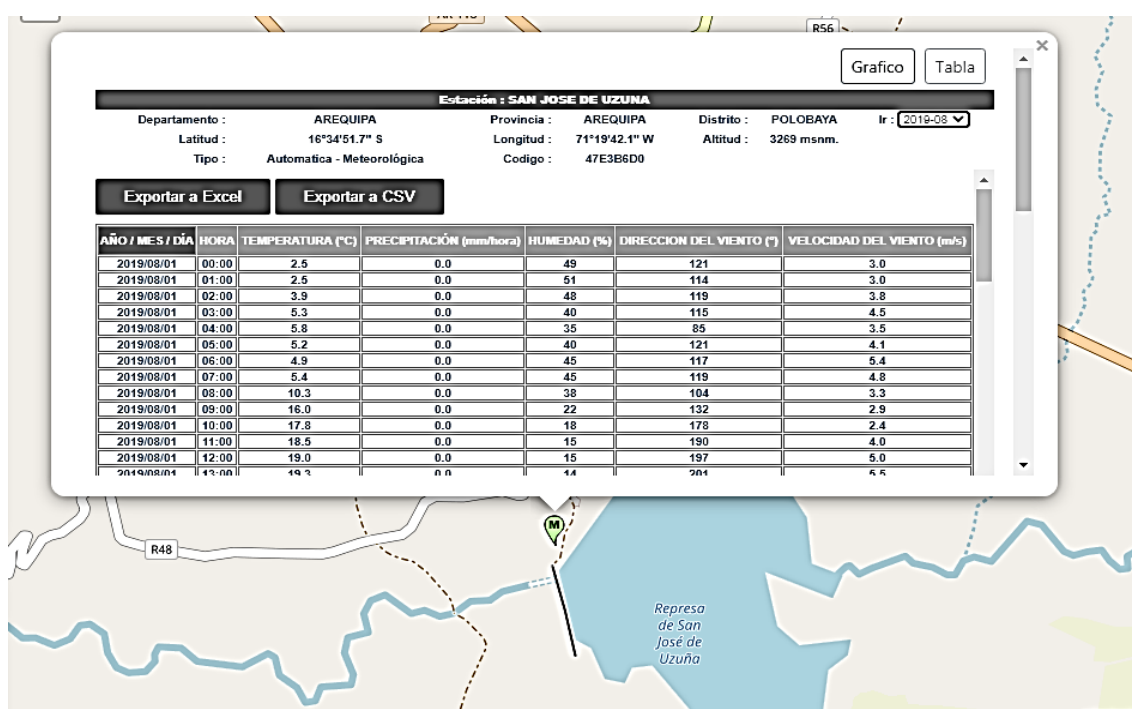


*Nota. Vista aérea del Centro Poblado Inicial Uzuña 1480416
Fuente: Google maps (2021)*

4.3 Disponibilidad y diagnóstico con datos climáticos de Polobaya – Uzuña

La información climática utilizados para realizar el diagnóstico y análisis del clima de Uzuña se obtuvo del SENAMHI de manera virtual y gratuita de su página web. Los datos descargados corresponden al año 2019 y han sido registrados cada hora para cinco parámetros meteorológicos como la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$), precipitación (mm), humedad relativa del aire (%), dirección del viento ($^{\circ}$) y su velocidad (m/s). Para el análisis de la irradiación solar y radiación solar se utiliza data de un archivo de clima de un año típico meteorológico (*TM_Y*), considerando como mínimo 20 años de registro y generado con el software *Meteonorm*, en formato EPW (*EnergyPlus weather files*).

Figura 11. Ubicación estación



*Nota. Captura de pantalla Datos Hidrometeorológicos de San José de Uzuña.
Fuente: SENAMHI*

4.3.1 Temperatura

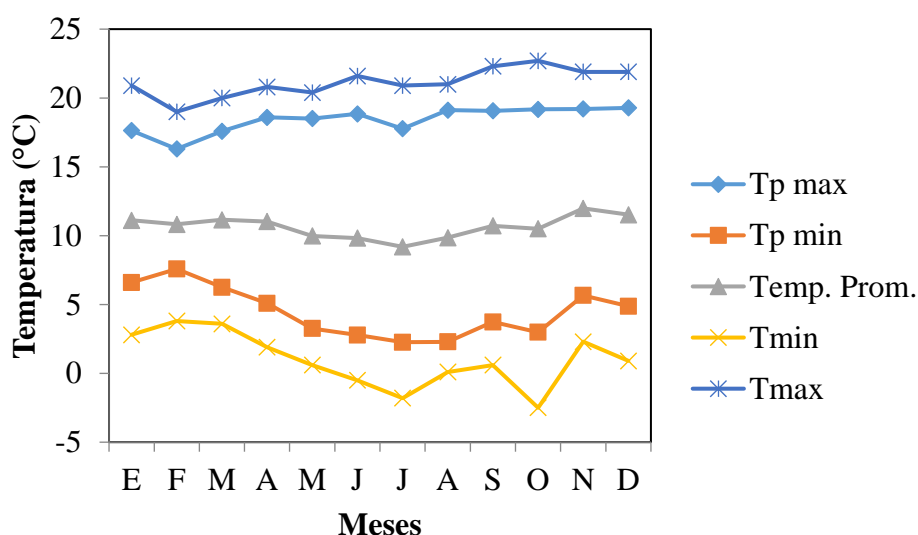
El comportamiento anual de temperatura para el Centro Poblado de Uzuña en base a data de la estación meteorológica del SENAMHI, evidencia que las temperaturas promedias oscilan entre 4.4 °C a 18.4 °C con una media de 10.6 °C, y oscilaciones o amplitudes térmicas de 14.4 °C. Mínimos y máximos extremos de -1.8 °C en julio y 22.7 °C en setiembre. Conviene acotar que el comportamiento de la temperatura se relaciona de manera directa con la irradiancia solar durante el año. La **Figura 12** muestra el comportamiento de las temperaturas máxima y mínima promedio (Tp Máx y Tp mín), media (Temp. Prom.); y máximas y mínimas extremas (T Máx y T mín).

Tabla 8. Temperaturas características de Polobaya

MES	Tp máx.	Tp mín.	Temp. Prom.	Tomín	Máx.	Osc. Térmica
E	17.6	6.6	11.1	2.8	20.9	11.0
F	16.3	7.6	10.8	3.8	19.0	8.7
M	17.6	6.3	11.2	3.6	20.0	11.3
A	18.6	5.1	11.0	1.9	20.8	13.5
M	18.5	3.3	10.0	0.6	20.4	15.2
J	18.9	2.8	9.8	-0.5	21.6	16.1
J	17.8	2.3	9.2	-1.8	20.9	15.5
A	19.1	2.3	9.9	0.1	21.0	16.8
S	19.1	3.7	10.7	0.6	22.3	15.3
O	19.2	3.0	10.5	-2.5	22.7	16.2
N	19.2	5.7	12.0	2.3	21.9	13.5
D	19.3	4.9	11.5	0.9	21.9	14.4
ANUAL	18.4	4.4	10.6	1.0	21.1	14.0

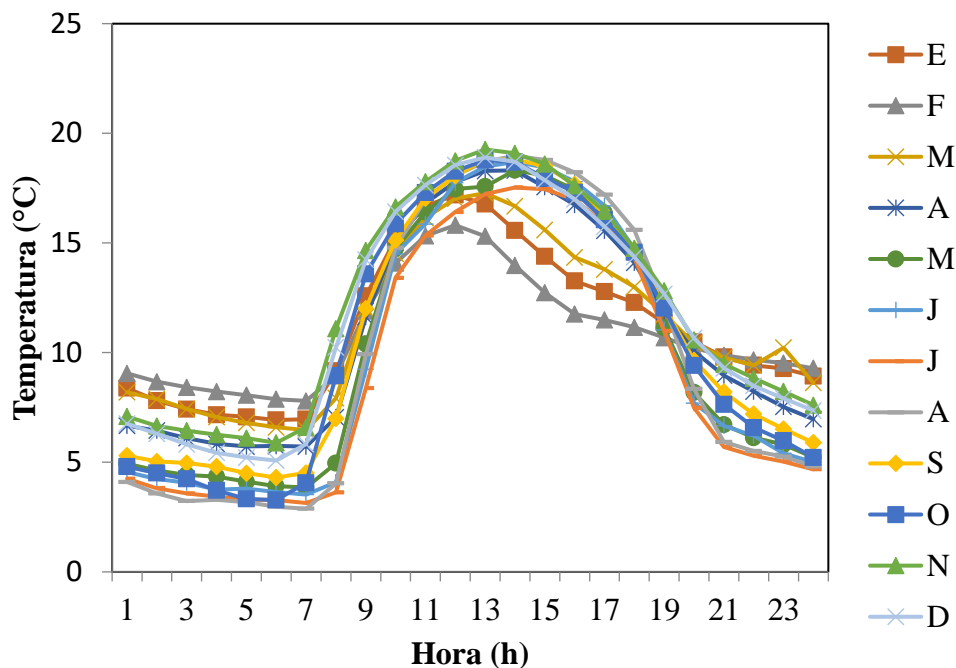
Nota. Temperaturas características de Polobaya
Fuente: elaboración propia en base a la investigación realizada

Figura 12. temperaturas promedios mensuales diarias características en Polobaya



Nota. Graficas anual de las temperaturas promedios mensuales diarias características en Polobaya.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Figura 13. Temperaturas promedio horarios mensuales características en Polobaya



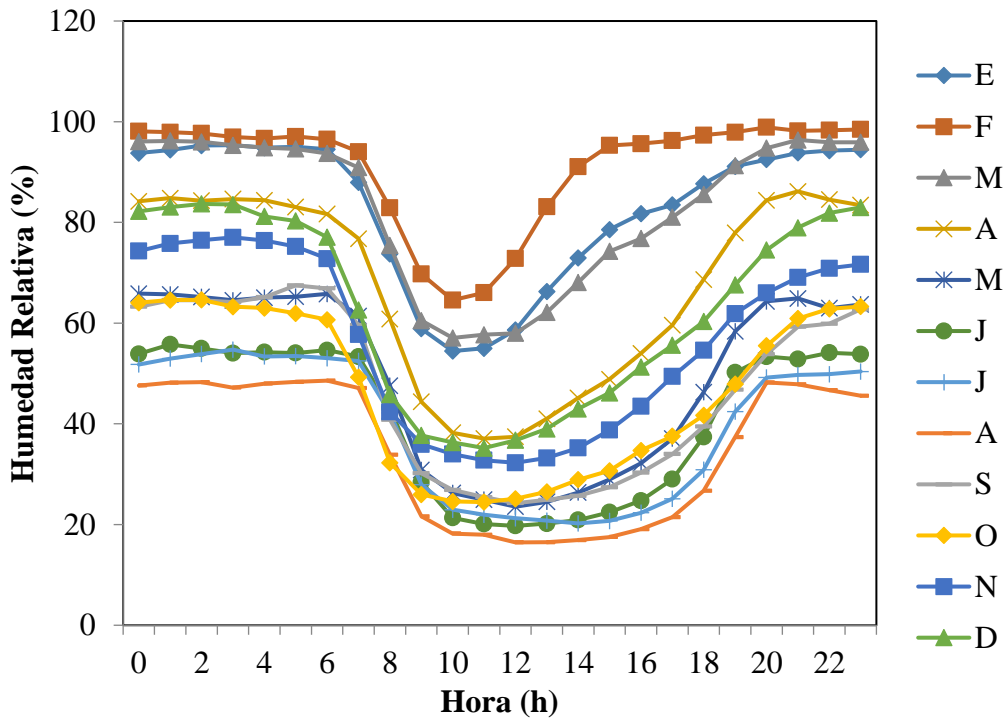
Nota. Graficas anual de las temperaturas promedio horarios mensuales características en Polobaya. Fuente: elaboración propia en base a la investigación realizada

4.3.2 humedad relativa (Hr)

De la data obtenida del SENAMHI, la humedad relativa varía de 32 % a 82 % como promedio mínimo y máximo, y una media de 58.4 % para el año 2019; y máximos y mínimos extremos de 93.7 % y 15.4 %. Tanto humedades altas como bajas, son perjudiciales para la salud e infraestructura de un edificio, las altas humedades producen asma, tos, y afecciones pulmonares, respecto al edificio dañan los materiales como las placas de yeso y debilitan las estructuras metálicas, las bajas humedades provocan resequedad en la piel y labio, este último más propenso al resquebrajamiento y sangrado, y enrojecimiento a los ojos. La HR juntos con la temperatura, son preponderantes para evaluar la sensación y confort térmico que en conjunto permiten realizar estudios de confort higrotérmico.

La **Figura 14** muestra la humedad relativa promedio horaria mensual con el mes de agosto presentando entre las 9 h y 18 h las HR más bajas entre 16 a 27 %, y las máximas en febrero de alrededor de 98% desde las 1 h hasta las 6 h del día siguiente.

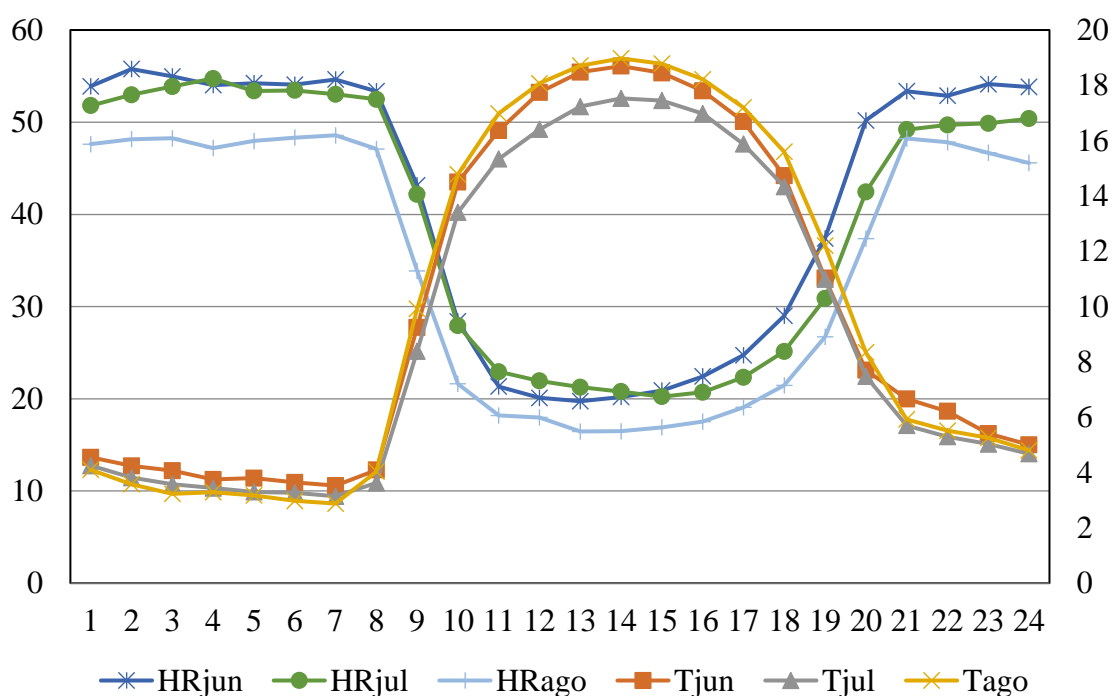
Figura 14. Humedad relativa horaria mensual



*Nota. Humedad relativa promedio horaria vs temperatura promedio horario,
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

La **Figura 15** muestra el comportamiento promedio horario de la temperatura y HR para los meses de bajas temperaturas como junio, julio y agosto. Se puede apreciar el comportamiento inverso de ambas variables climáticas.

Figura 15. Humedad relativa vs temperatura para meses de bajas temperaturas.

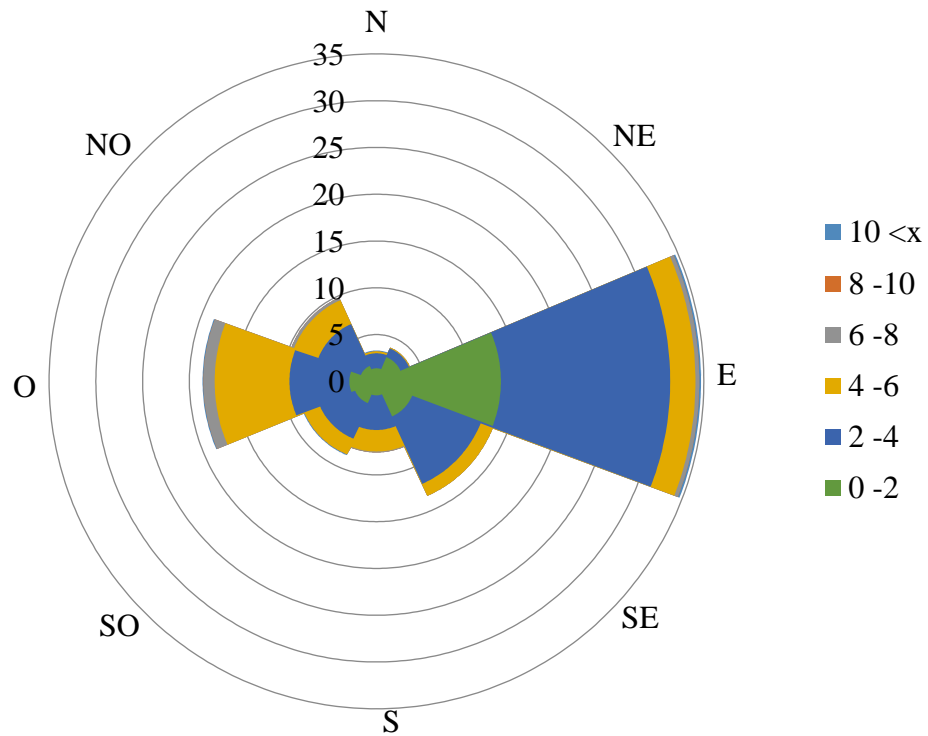


*Nota. Humedad relativa vs temperatura para meses de bajas temperaturas.
Fuente: elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.3.3 Dirección del viento

La dirección del viento referente al diseño bioclimático permite definir los criterios de la mejor ubicación de puertas y ventanas para optimizar la hermeticidad y evitar problemas de intercambios de aire no deseados o infiltraciones, debido a que son una de las variables influyentes en el análisis del comportamiento térmico o energético de edificios o viviendas. De acuerdo a la **Figura 16** la dirección predominante del viento es al este, y algo menor al oeste y sureste. Asimismo, velocidades de 0 a 2 m/s se presentan en un 13.3 % en dirección este; velocidades de 2 a 4 m/s entre un 13.3 % a 31.4 % en dirección este, de 12 % al sureste, 5.2 % al sur, 6.6 % al suroeste, 9.3% al oeste, 6.7 % al noroeste, 3 % al norte, y 3.8% al noreste; velocidades de 4 a 6 m/s se presentan en un 34.1 % al este, 17.3 % al oeste, 13.4 % al sureste, 9.5 % al noroeste, 7.5 % al sur, y 8.4 % al suroeste; velocidades de 6 a 8 m/s se presenta 18.5 % dirección oeste, y 34.5 % al este; por encima de 8 m/s no se presentan velocidades.

Figura 16. orientación del viento según rangos de velocidades

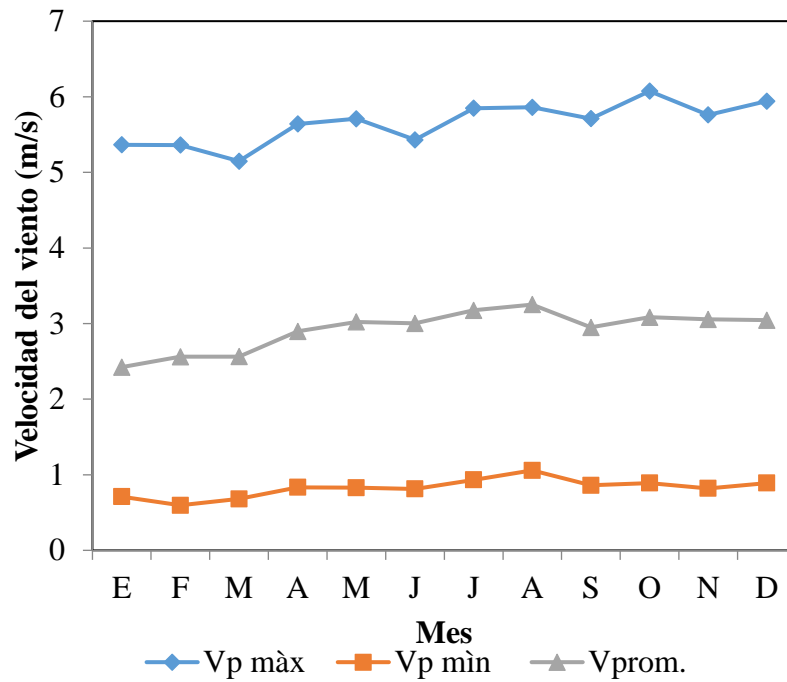


Representación de la orientación del viento según rangos de velocidades. Los números sobre la vertical representan porcentajes de ocurrencias. Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

4.3.4 velocidad del viento

La velocidad promedio (V_{prom}) diario anual para Uzuña es 2.9 m/s, y promedios diarios máximos ($V_p \text{ máx.}$) y mínimos ($V_p \text{ min}$) de 5.7 m/s y 0.8 m/s.

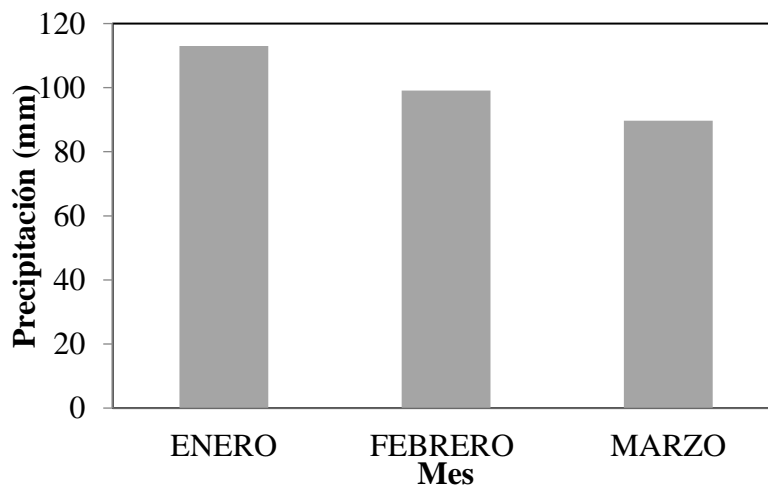
Figura 17. Velocidad del viento promedio mensual máxima y mínima



Nota. Velocidad del viento promedio mensual máxima y mínima (V_p máx. y V_p mín.), y media (V_{prom}). Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

4.3.5 Precipitación

Figura 18. Precipitación en Uzuña-Polobaya, temporada pluvial

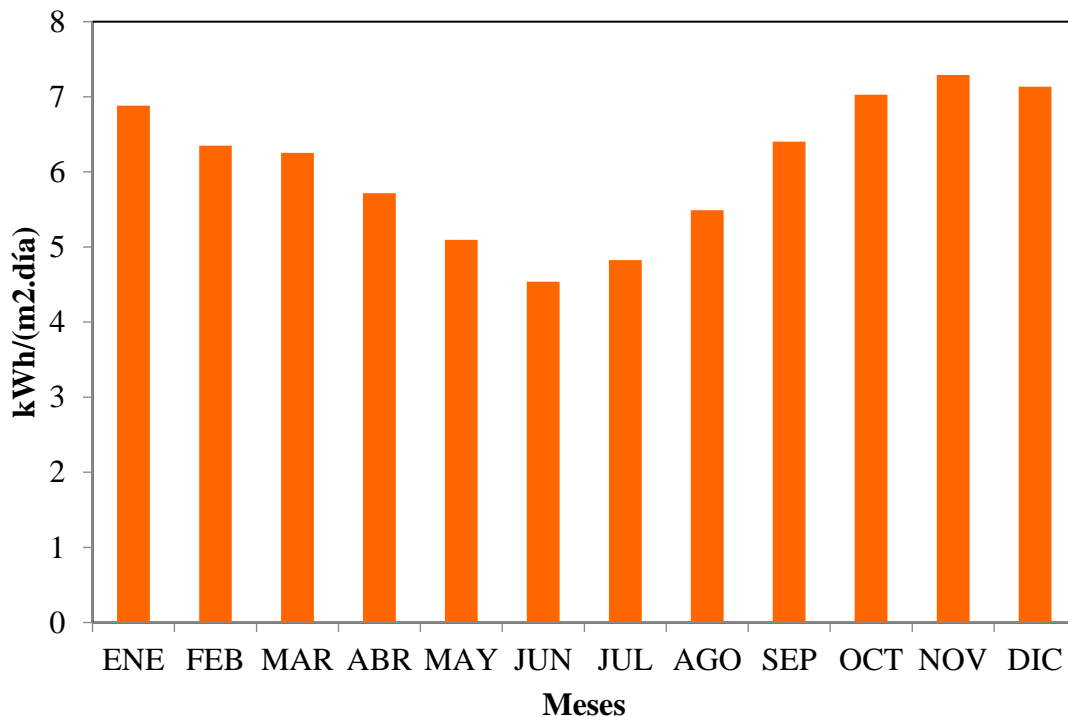


Nota. Precipitación en Uzuña- Polobaya en (mm), los meses enero, febrero y marzo. Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

4.3.6 Radiación solar

El potencial solar para Uzuña se presenta abundante tal es así que en promedio anual se tiene una radiación solar de 6.08 kWh/(m²día), con máximos de 7.29 kWh/(m²día) en noviembre y mínimos de 4.54 kWh/(m²día) en junio. Irradiancia solar promedio anual de 253.49 W/m², con máximo de 303.81 W/m² en noviembre y mínimo de 189.13 W/m² en junio, Y pico máximo en promedio anual de 1193.42 W/m² alrededor del mediodía. Estos resultados demuestran la viabilidad de utilizar el recurso solar en esta zona a través de las tecnologías existentes como los paneles fotovoltaicos, calentadores solares de agua, sistemas de climatización pasiva de viviendas como los invernaderos adosados, cocinas solares, hornos solares, entre otros. La cosecha del potencial solar a partir del diseño pasivo va a permitir reducir la demanda de energía de calefacción en caso sea necesario. Asimismo, el potencial solar está a disposición y es cuestión de estudiar la forma pasiva o activa de cómo se puede captar, transformar, transportar, y finalmente de cómo se puede transmitir al interior, en este caso, que para calentar el aire interior de viviendas.

Figura 19. Disponibilidad solar



Nota. Radiación solar para Uzuña considerando data de un año típico meteorológico generado con Meteororm. Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

4.4 Metodología para definir las recomendaciones bioclimáticas para el diseño de aula bioclimático.

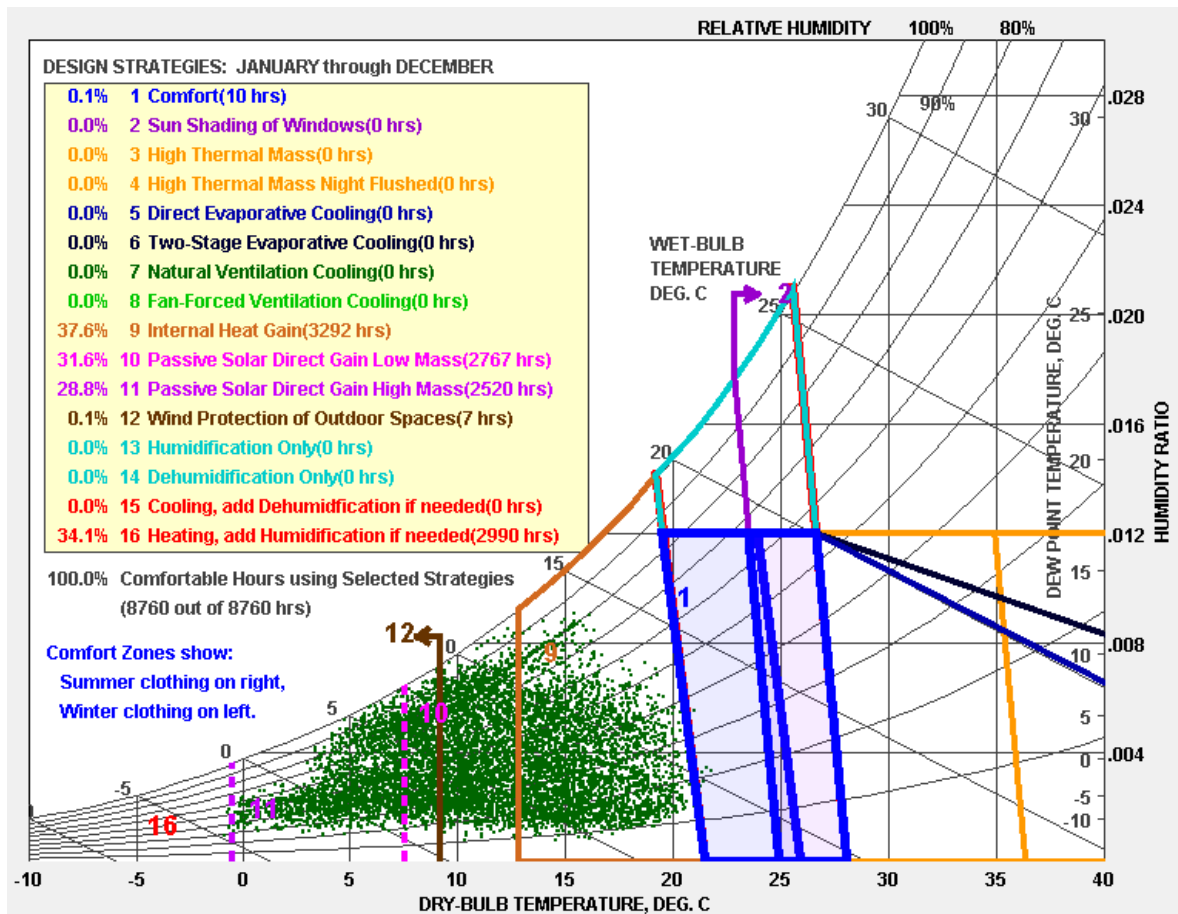
En esta parte se definen las estrategias o recomendaciones bioclimáticas en base al clima de Uzuña y uso de diagramas, cartas, ábacos, o tablas, como el diagrama psicrométrico de Givoni.

4.4.1 Diagrama de Givoni

Para proponer las estrategias bioclimáticas para Uzuña recurrimos al software *Climate Consultant 6.0* que en su entorno de trabajo considera el diagrama psicrométrico de Givoni representado con 16 estrategias de diseño. Para obtener dicho diagrama y usar el *Climate Consultant*, se tiene que disponer de un archivo de clima para un año típico meteorológico de por lo menos 20 años, en el presente estudio se dispone de dicho archivo de clima para Uzuña generado con el software *Meteonorm*. El modelo de confort empleado en el *Climate Consultant* para la elaboración del diagrama psicrométrico fue el ASHRAE Estándar 55 Modelo Fundamental, el cual infiere que el confort térmico se basa en la temperatura del bulbo seco, el nivel de la ropa (clo), la actividad metabólica (met), la velocidad del aire, la humedad y la temperatura radiante media. En interiores, se supone que la temperatura radiante media es cercana a la temperatura del bulbo seco. La zona en la que la mayoría de las personas se sienten cómodas se calcula utilizando el modelo PMV (voto medio predicho). En entornos residenciales, las personas adaptan la ropa para que coincida con la temporada y se sienten cómodas a velocidades de aire más altas y, por lo tanto, tienen un rango de comodidad más amplio que en edificios con sistemas de climatización centralizados.

La **Figura 20** muestra en puntos verdes la temperatura y humedad relativa horaria anual de Uzuña y su ubicación para cada una de ellos respecto de la zona de confort térmico cuya frontera está representada con líneas azules. Cada número en el diagrama representa una zona referenciada con un tipo de estrategia de diseño recomendada.

Figura 20. Diagrama psicrométrico o de Givoni para Uzuña.



*Nota. Diagrama psicrométrico o de Givoni para Uzuña.
 Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

Para el presente estudio, el diagrama de Givoni muestra las siguientes estrategias a considerar en el diseño bioclimático para Uzuña:

Zona 1 - Confort: 0.1 % no requiere de ninguna estrategia bioclimática por encontrarse en la zona de confort la cual está representada por 10 horas de las 8760 horas del año.

Zona 9 – Ganancias de calor internas: su aplicación contribuye en un 37.6 % para lograr alcanzar la zona de confort que a la vez representa 3292 horas. Esta estrategia infiere las ganancias por habitabilidad (personas), electrodomésticos, iluminación, y cualquier otro equipo emisor de calor en su etapa de funcionamiento u operatividad.

Zona 10 – Ganancia solar pasiva directa de baja masa térmica: su aplicación contribuye en un 31.6 % que representa 2767 horas. Infiere a la materialidad de la envolvente y a la orientación óptima para aprovechar de manera natural la captación

de la radiación solar como medio de calefacción interior, sea de manera directa o indirecta.

Zona 11 – Ganancia solar pasiva directa de alta masa térmica: su aplicación contribuye en un 28.8 % que representa 2520 horas. Hace referencia similar a la zona 10 con el detalle de considerar alta masa térmica de espesores altos como por ejemplo el empleo de paredes de adobe, tapial, sillar o piedra, así mismo, ladrillos convencionales colocados con su largo como ancho de pared. Conviene en esta parte utilizar materiales con valores aproximados de calor específico alrededor de los 800 a 1500 J/kg°C, conductividad térmica del orden de los 0.X W/m°C, y densidades entre 600 a 3000 kg/m³, la densidad es el factor determinante de la capacidad térmica de los materiales.

Zona 12 – Protección del viento de espacios exterior: su aplicación contribuye en un 0.1 % que representa 7 horas.

Zona 16 – Calefacción: su aplicación contribuye en un 34.1 % que representa 2990 horas. En esta parte como prioridad se recurre a la tecnología solar térmica empleando agua como medio acumulador por calor sensible dado su alto calor específico y disponibilidad, que, además, permite contar con agua caliente.

Tabla 9. Estrategias de diseño según diagrama de Givoni utilizando Climate Consultant.

Zonas de diseño	E (%)	F (%)	M (%)	A (%)	M (%)	J (%)	J (%)	A (%)	S (%)	O (%)	N (%)	D (%)	Anual (%)
1	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.3	0.1
9	40.5	37.5	41.9	38.2	32.4	25.1	26.7	32.4	37.9	45.0	45.8	47.3	37.6
10	31.3	29.3	31.2	31.0	30.5	29.6	31.3	31.5	32.9	34.8	32.4	33.1	31.6
11	30.8	26.6	28.5	29.4	28.5	24.6	25.9	29.3	29.4	31.2	28.8	31.9	28.8
12	0	0	0	0	0	0	0.4	0.1	0	0	0.1	0.3	0.1
16	32.3	37.5	32.8	33.9	36.6	43.6	40.9	34.9	35.3	28.5	29.2	24.7	34.1

*Nota. Estrategias de diseño según diagrama de Givoni
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.1 Análisis de la envolvente a partir de su transmitancia térmica para la escuela Pronei Uzuña (Norma EM110)

Uzuña por su altitud, 3100 msnm, pertenece a la zona bioclimática Mesoandina comprendida entre 3000 a 4000 msnm. La **tabla 10** para esta zona según la Norma Técnica EM110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética, recomienda los valores de transmitancias térmicas (U) máximas de paredes, techo y piso, para el primero de 2.36 W/m²°C, 2.21 W/m²°C, y 2.63 W/m²°C, infiere que de no cumplir con estas exigencias, se tiene que elegir otra configuración de componente constructivo en base a nuevos elementos o adición de otros (las componentes están constituidas por elementos constructivos, los materiales en sí). Cabe señalar que los valores de transmitancias térmicas definen el nivel o carácter de aislamiento térmico y lo que se pretende para zonas de bajas temperaturas es la elección de materiales de altas resistencias térmicas (R) o bajas transmitancias térmicas (materiales de bajas conductividades térmicas).

Tabla 10. Transmitancias térmicas máximas según zonas bioclimática

Zona bioclimática	Transmitancia térmica máxima del muro (U _{muro})	Transmitancia térmica máxima del techo (U _{techo})	Transmitancia térmica máxima del piso (U _{piso})
1. Desértico costero	2,36	2,21	2,63
2. Desértico	3,20	2,20	2,63
3. Interandino bajo	2,36	2,21	2,63
4. Mesoandino	2,36	2,21	2,63
5. Altoandino	1,00	0,83	3,26
6. Nevado	0,99	0,80	3,26
7. Ceja de montaña	2,36	2,20	2,63
8. Subtropical húmedo	3,60	2,20	2,63
9. Tropical húmedo	3,60	2,20	2,63

*Nota. Transmitancias térmicas máximas según zonas bioclimáticas
Fuente: Norma EM110*

La **tabla 11** muestra las transmitancias térmicas de acuerdo a los componentes y elementos constructivos que constituyen la envolvente del colegio en estudio. Para el piso se encontró el valor de 1.39 W/m²°C, cumple con la exigencia de la Norma EM.110 y no requiere de intervención o modificación. El valor de U obtenido para la pared de 2.93 W/m²°C y techo de 7.14 W/m²°C no cumplen con la norma, en este caso como se trata de una construcción existente, lo que se tiene que realizar es agregar elementos constructivos para mejorar el aislamiento ya sea por el interior o

exterior. Así mismo, para el caso de la puerta, ventana y falso techo, tienen que eliminarse los puentes térmicos evitando el uso de materiales conductores de calor como los metales, o ventanas sin protección para evitar la pérdida de calor por las noches o el alto deslumbramiento en el día.

Los cálculos de U se realizaron considerando las resistencias superficiales de convección interior ($R_{si}=1/h_i$) y exterior ($R_{se}=1/h_e$). Para el caso del piso se consideró $R_{se}= R_{si}= 0.09 \text{ m}^2\text{C/W}$, para las paredes $R_{si}=0.06 \text{ m}^2\text{C/W}$ y $R_{se}=0.11 \text{ m}^2\text{C/W}$, y para el techo $R_{si}=0.09 \text{ m}^2\text{C/W}$ y $R_{se}=0.05 \text{ m}^2\text{C/W}$.

Tabla 11. Transmitancias térmicas para el colegio de Uzuña.

Componentes Constructivos	Materiales	Espesor (M)	K (W/m°C)	R (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
Piso	Tierra	0.1	0.52	0.19	1.39
	Concreto	0.1	1.51	0.07	
	Cámara aire	0.025	-	0.15	
	madera	0.02	0.15	0.13	
	1/hi+1/he	-	-	0.18	
Paredes	cemento arena	0.02	1.4	0.01	2.93
	Ladrillo	0.12	0.84	0.14	
	cemento arena	0.02	1.4	0.01	
	1/hi+1/he	-	-	0.17	
Techo	calamina	0.0005	237	2.1097E-06	7.14
	1/hi+1/he	-	-	0.14	
Ventanas	vidrio simple	0.003		0.185	2.82
	1/hi+1/he	-	-	0.17	
Puertas	puerta de metal	0.001	50	0.00002	5.88
	1/hi+1/he	-	-	0.17	
Falso Techo	panel de yeso	0.0125	0.25	0.05	5.26
	1/hi+1/he	-	-	0.14	

*Nota. Transmitancias térmicas para el colegio de Uzuña.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

Recomendaciones

Respecto a la pared, se puede agregar a su configuración una capa de aislamiento térmico de preferencia por el exterior para considerar el efecto de la inercia térmica y regular la temperatura interior. Esta capa de aislamiento permitirá que el material absorba calor en el día por medio de la ganancia directa a través del ingreso de calor por las ventanas y ganancias internas por personas, evitando se pierda al exterior y devolviéndola a destiempo al interior según el retardo térmico del material de pared instalado. Calculando el retardo térmico para el ladrillo sólido de arcilla cocida a partir de:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{1}{2\omega\alpha}} L = 0.28L \sqrt{\frac{T}{\alpha}} = 82.918L \sqrt{\frac{1}{\alpha}} \quad (1)$$

α : difusividad térmica (m^2/s)

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_e} \quad (2)$$

k: conductividad térmica ($W/m^\circ C$)

ρ : densidad (kg/m^3)

C_e : calor específico ($J/kg^\circ C$)

Para el ladrillo: $\alpha=6.17 \times 10^{-7} m^2/s$, entonces $\Delta t=3.5 h$.

4.2 Consideraciones de diseño para módulo de aula bioclimático

4.2.1 Normas, estándares y documentos:

- Guía de Estrategias de diseño Bioclimático para el Confort Térmico.
- RVM-N-010-2022-MINEDU-Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos.
- Norma técnica- criterios generales de diseño para infraestructura educativa
- Norma E.040 Vidrio.
- Norma EM.110 Confort térmico.
- Norma A 040 Vivienda construcción y saneamiento.
- Norma EM 030 Instalaciones de ventilación.

4.2.2 Dimensionamiento

A. Dimensiones generales según normas

- El área mínima requerida es 40m² para una cantidad de 20 alumnos como máximo por lo tanto el colegio tendrá medidas de largo: 8m y ancho: 5m.
- La altura mínima requerida es 2.8m
- El espesor de los vidrios para ventanas como mín. es de 3mm – templado
- Medidas de puerta requeridas, alto: 2mts y ancho :1m

B. Diseño de alero

El diseño de aleros será mediante la utilización de los datos directos de azimut y altura.

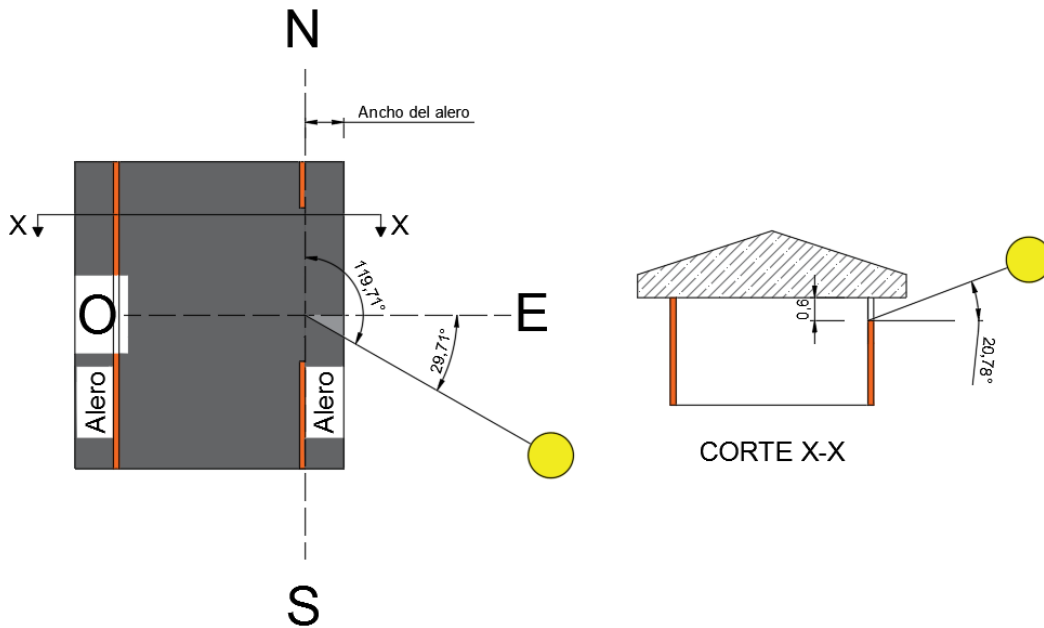
Tabla 12. azimut y altura

-16° Sur Hora	Diciembre		Enero / Noviembre		Febrero / Octubre		Marzo / Setiembre		Abril / Agosto		Mayo / Julio		Junio	
	Azimut	Altura	Azimut	Altura	Azimut	Altura	Azimut	Altura	Azimut	Altura	Azimut	Altura	Azimut	Altura
7 - 17 H	70.31	19.75	73.77	19.18	82.95	17.32	94.22	14.41	105.86	10.75	113.88	7.90	116.82	6.81
8 - 16 H	72.13	33.41	76.08	33.10	86.50	31.67	99.04	28.73	111.49	24.41	119.71	20.78	122.64	19.35
9 - 15 H	72.57	47.16	77.44	47.14	90.33	46.09	105.41	42.82	119.37	37.45	127.94	32.79	130.87	30.92
10 - 14 H	70.38	60.86	77.18	61.22	95.47	60.48	115.52	56.35	131.46	49.25	139.96	43.22	142.67	40.85
11 - 13 H	59.79	74.05	71.57	75.16	106.25	74.67	135.81	68.20	151.12	58.37	157.43	50.79	159.25	47.92
12 m.	-	82.55	-	85.86	-	85.23	-	74.00	-	62.07	-	53.66	-	50.55

Fuente: Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos – 2008.

Alero = ((Altura desde el alfeizar / Tg del Angulo de Altura) x Cos (Angulo de la Perpendicular del vano con el azimut)) – Espesor del Muro

Figura 21. Vista de planta de la escuela



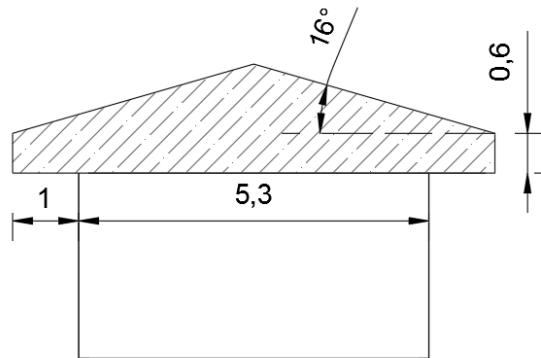
Nota. Vista planta de la escuela diseñada, con la recomendación de inclinación respecto al norte según las normas. Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

$$\text{Ancho del Alero} = (1/\text{tg}(24.78^\circ)) * \cos(29.71^\circ) - 0.15 = (0.877 * 0.87) - 0.15 = \mathbf{0.97 \text{ m} \sim 1\text{m}}$$

C. Diseño de techo

En cuanto a la inclinación, hay que valorar la variación de la radiación solar sobre la tierra que se calcula en función a la latitud y longitud en la que nos encontremos en el mapa. Arequipa se encuentra en la latitud -16.39889 y longitud -71.535. Hace parte del continente de América del Sur y está ubicado en el hemisferio sur.

Figura 22. Inclínación y medidas exteriores

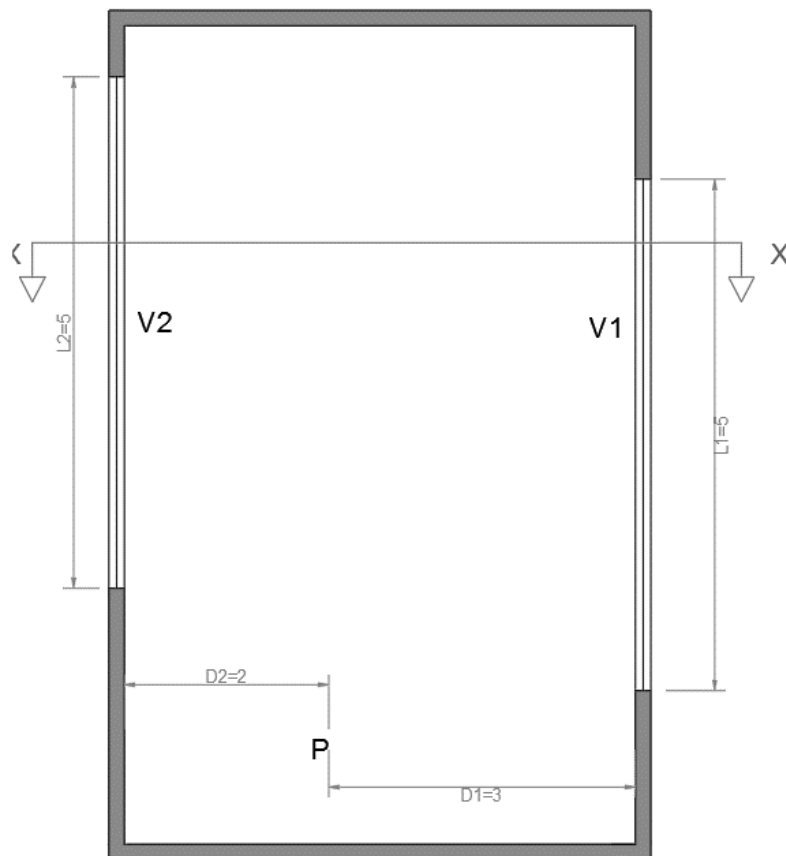


Nota. Vista de elevación de la escuela diseñada, la inclinación es perpendicular a la caída de radiación solar de Arequipa. Medidas en metros.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

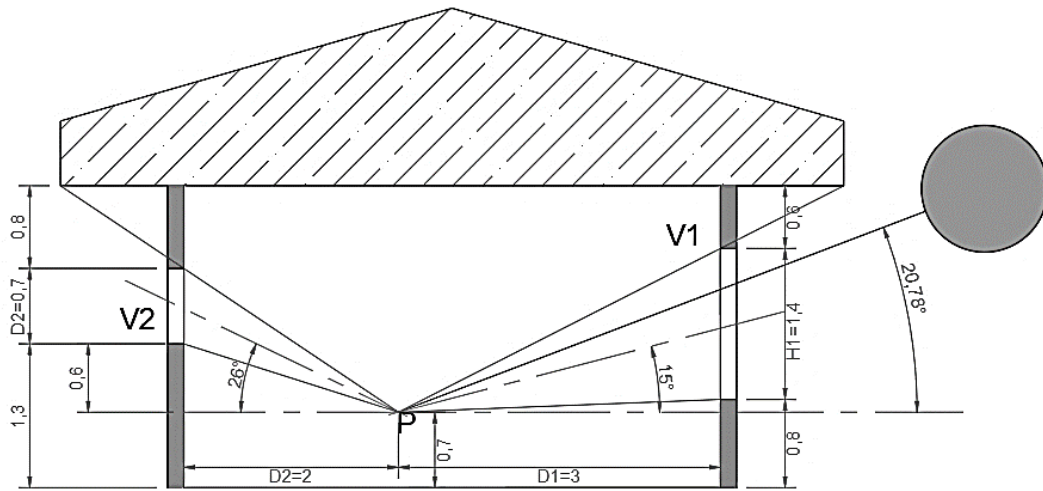
D. Dimensionamiento de ventanas

Figura 23. Vista de Planta de propuesta de diseño de aula bioclimática



Nota. Vista de planta de propuesta de aula bioclimática, dimensionamiento de ventanas y P (punto máx. de iluminación), Medidas en metros. Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Figura 24. Vista de corte x-x de propuesta de diseño de aula bioclimática



CORTE X-X

Nota. Vista de corte x-x de propuesta de aula bioclimática para iluminación natural, dimensionamiento de ventanas y P (punto máx. de iluminación), Medidas en metros Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Tabla 13. Cálculo para dimensionamiento de ventanas de propuesta de aula bioclimático

Cálculo de la ventana 1				Área ventana	10.50
L1=	5	M=	1.667	Área de piso	40.00
H1=	1.5	T=	0.500	AW/AP=	26.25%
D1=	3	R=	0.834	CRI	0.9
		FLDd%:=	2.449	Mantenimiento	0.8
				transmitancia	0.85
Restar parte del muro				obstrucciones	2.0%
L1=	5	M=	1.6667	carpintería	10%
H1=	0.1	T=	0.0333	factor de reducción	
D1=	3	R=	0.9994		0.8x0.85x0.98x0.9
		FLDd%:=	0.013	FR	0.600
FLDd (CCU) V1%:=	2.436			FLDd (CCU) (LIMA)	4.871
φ=	15			FLDd (CCNU) (SIERRA)	3.543
				ZONA CLIMÁTICA	4
FLDd (CCNU) V1%:=	1.585				
Cálculo de la ventana 2				FLDc % := (FLDd + CRI) X FR	
L2=	5	M=	2.500	iluminancia exterior de la zona luxes	8500
H2=	1.2	T=	0.600	FLDc (CCU) %	2.666
D2=	2	R=	0.857	Luxes:	226.583
		FLDd%:=	3.463	iluminancia (luxes) recomendada	250
				Porcentaje respecto al valor recomendado dentro del límite permitido	90.6%
Restar parte del muro					
L2=	5	M=	2.5000		
H2=	0.6	T=	0.3000		
D2=	2	R=	0.9578		
		FLDd%:=	1.029		
FLDd (CCU) V2%:=	2.434				
φ=	26				
FLDd (CCNU) V2%:=	1.958				

Nota. Cálculo para dimensionamiento de ventanas según la Norma EM110 Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Tabla 14. Dimensiones de ventanas de módulo bioclimático

Módulo	Ventana 1		Ventana 2	
	Largo (m)	Alto (m)	Largo (m)	Alto (m)
Módulo típico	5	1.4	5	0.7
Módulo mejorado 1 y 2	5	1.4	5	0.7

Fuente: *Elaboración Propia*

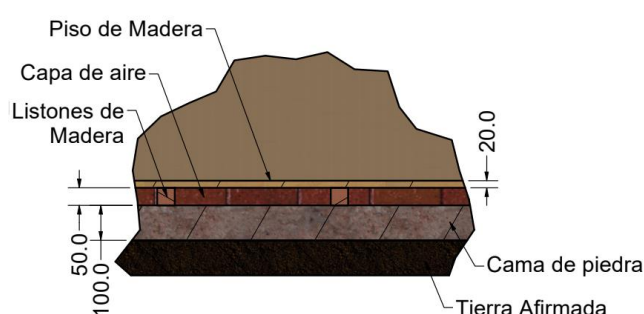
4.2.3 Técnicas bioclimáticas aplicadas a la envolvente

Como se mencionó anteriormente, son tres propuestas de diseño de módulo que cuentan con las mismas medidas; sin embargo, serán diferentes en cuanto a las técnicas bioclimáticas. El primero es un módulo típico que tiene las mismas técnicas bioclimáticas encontradas en la escuela Uzuña y los módulos mejorados 1 y 2 cuentan con técnicas bioclimáticas diferentes o mejoradas. Para lo cual se realizará una configuración por partes como son:

A. Piso

La configuración del piso será de tierra compacta, por lo general lo cuentan las zonas rurales del país. A partir de un piso compacto y nivelado, una cama de piedra de 10cm de altura, un entramado de listones de madera de 5cm de altura con espacios de aire, y tablas de madera de 2cm de espesor.

Figura 25. Configuración del piso aislado



Nota. Configuración del piso aislado. Medidas en mm
Fuente: *Elaboración propia en base a la investigación realizada*

B. Paredes

Para las paredes se considera una configuración diferente por cada propuesta de módulo (ver **tabla 15**).

A continuación, se presenta las medidas del ladrillo considerado para los tres modelos de módulo

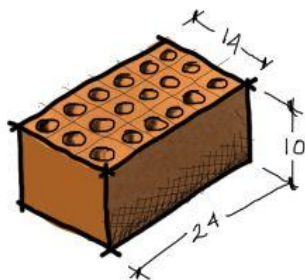


Tabla 15. Tabla de configuración de pared según tipo de módulo

Módulo	Elemento Constructivo	Configuración de Material
Módulo Típico	Pared	Cemento + Ladrillo + cemento
Módulo Mejorado 1	Pared	Cemento + Ladrillo + cemento + Poliuretano (50mm) + Yeso (20mm)
Módulo Mejorado 2	Pared	Cemento + Ladrillo + Cemento + Poliuretano (50mm) + Triplay (4mm)

*Nota. Tabla de configuración de pared según tipo de módulo.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

C. Techo

Los materiales y espesor para el techo de los módulos se muestran en la **tabla 16** y la configuración de los materiales tanto en techo como cielo raso están descritos en la **tabla 17**.

Tabla 16. Espesor de material para módulo

Descripción del Material	Espesor (mm)
Calamina metálica de Zinc	0.5
Fibrocemento	4
Ichu	50
Claraboya	1
Plancha Metálica	1

Fuente : Elaboración Propia

Tabla 17. Tabla de configuración de techo según tipo de módulo

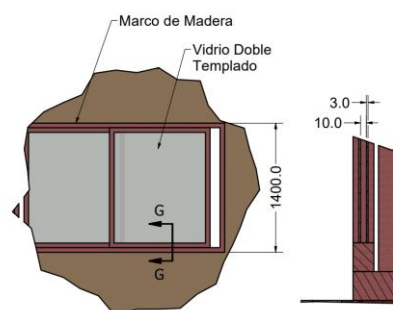
Módulo	Elemento Constructivo	Materiales
Módulo Típico	Techo	Calamina
	Cielo Raso	Fibrocemento
Módulo Mejorado 1 y	Techo	Calamina + Ichu + Calamina
Módulo Mejorado 2	Cielo Raso	Plancha Metálica

*Nota. Tabla de configuración de techo según tipo de módulo.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

D. Ventanas

Según la normativa E 040 el vidrio para instituciones debe ser mínimo de 3mm y templado, por lo que se puede considerar de más espesor. La configuración de la escuela Uzuña era de vidrio simple con marco metálico y lo que se considera para los módulos mejorados es usar vidrio doble con marco de madera y evitar perder energía térmica durante la noche. Ver **tabla 18**

Figura 26. Configuración de ventana de módulo mejorado 1 y 2



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Estructuración de ventanas

Módulo	Vidrio	Marco
Módulo típico	Simple	Metal
Módulo mejorado 1	Doble	Madera
Módulo mejorado 2	Doble	Madera

*Nota. Tabla de configuración de ventanas según tipo de módulo.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

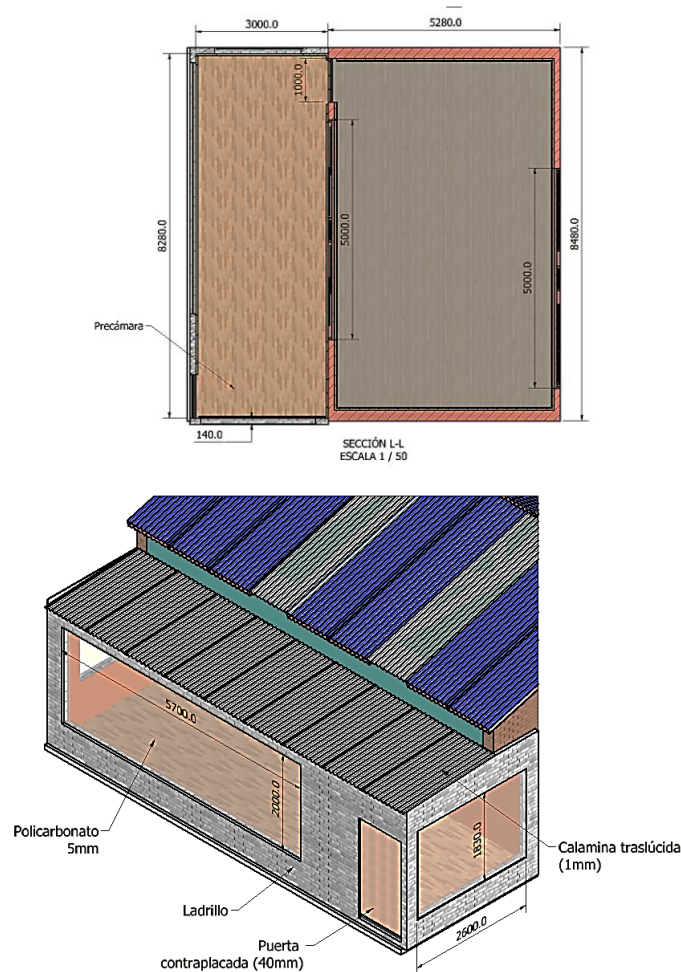
E. Puertas

La puerta del Módulo Típico es metálica de plancha de 1mm de espesor y marco de metal, para la puerta de Módulo mejorado 1 y 2 es contra placada de madera de 40mm de espesor.

F. Sistema de climatización solar pasiva

Sólo el módulo mejorado 2, lleva adosado una precámara de 3m x 8m en la pared orientado al este y una ventana y puerta que comunica el ambiente de la precámara con el ambiente del mismo módulo. La cubierta de la precámara es de policarbonato de alta densidad de 5mm de espesor y protegidas contra la radiación UV, tiene un revestimiento interno de poliuretano de 1 ½" y triplay de 4mm, al igual que el piso se encuentra aislado con listones de madera y tablas, la misma estructura del aula. Ver **figura 27**

Figura 27. Vista de planta e isométrico de módulo mejorado 2



Fuente: Elaboración Propia

4.3 Modelamiento y simulación dinámica

4.3.1 Modelado con SketchUp y Euclid

Una vez que se tenga el diseño y las técnicas bioclimáticas en borrador, se procede a modelar en *SketchUp*; *OpenStudio* vinculado con el programa de modelamiento, esto permitirá aplicar a la envolvente las zonas térmicas. Finalmente usarlo en el *EnergyPlus* y ejecutar la simulación ya que es un motor de cálculo basado en el análisis de transferencia de calor en estado transitorio y también proporciona los resultados o variables de salida.

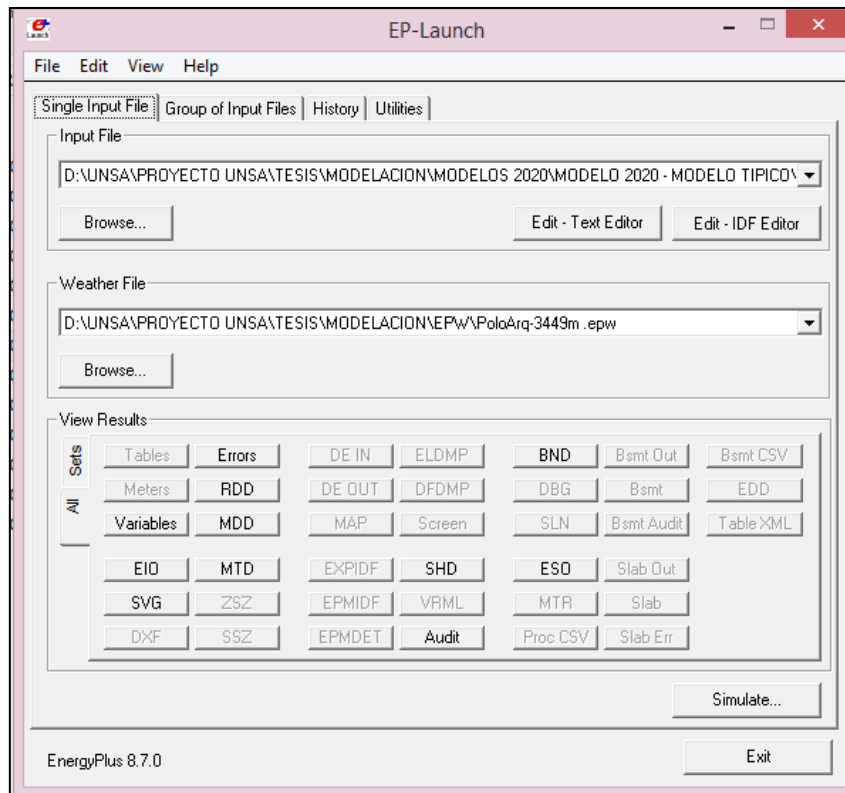
Se considera un diseño con tres diferentes estrategias bioclimáticas, el primero Módulo típico (MT); tiene la misma estrategia bioclimática aplicada de la escuela seleccionada Uzuña, la segunda; es el módulo mejorado 1 (MM1), tiene mejoras y adiciones de componentes de climatización natural como claraboyas y el módulo mejorado 2 (MM2) entre sus mejoras se caracteriza por una pre cámara adosada.

Se considerará los resultados de la simulación y su posterior análisis para el mes de julio considerado el más frío de todo el año.

4.3.2 Ingreso de datos al EP Launch e IDF Editor del EnergyPlus

EnergyPlus ofrece dos ventanas de trabajo EP Launch e IDF Editor, el EP Launch es el lugar para importar archivos con extensión IDF creado en el *SketchUp* usando las herramientas del *OpenStudio*, también se importan archivos climáticos con extensión *EPW*, se ejecuta las simulaciones visualizando si existen los errores a corregir y finalmente a través de esta ventana se exporta las variables de salida seleccionadas.

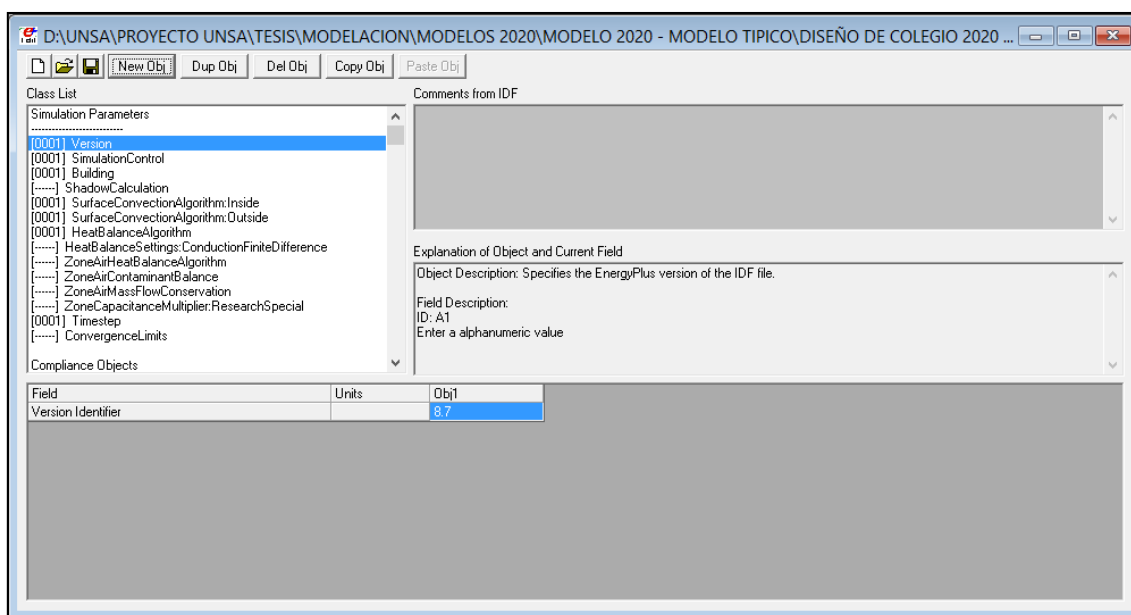
Figura 28. ventana IDF Editor accesible desde el EP Launch



*Nota. ventana IDF Editor accesible desde el EP Launch.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

La ventana IDF Editor accesible desde el EP *Launch*, permite la creación e ingreso de datos de entrada como la versión del *EnergyPlus*, localización del modelo a simular, archivo de clima, control de la simulación, horarios de control, los materiales, la constitución de la construcción, infiltraciones, termostatos, etc.

Figura 29. Ventana IDF Editor del EnergyPlus.



*Nota. Ventana IDF Editor del EnergyPlus.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

Solo por nombrar se describirán algunos de los parámetros de simulación utilizados en este trabajo en relación con el modelado y simulación de los módulos bioclimáticos M. Típico y M. Mejorado.

4.3.2.1 Control de la simulación

Se designa ejecutar la simulación para un archivo de clima dado a que se cuenta con el *EPW* para Polobaya obtenido con el programa *Meteororm*. En la **Figura 30** del campo control de la simulación se activa esta parte con la afirmación Yes.

Figura 30. Campo para el control de la simulación.

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		No
Do System Sizing Calculation		No
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes
Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods		
Maximum Number of HVAC Sizing Simulation Passes		

*Nota. Campo para el control de la simulación.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.3.2.2 Características del módulo bioclimático

En este campo (**Figura 31**), se ingresa el nombre del lugar de construcción, ángulo de orientación respecto al norte (para nuestro caso 0°), el tipo de terreno elegimos campo abierto, y la distribución de energía del sol que consideramos interior y exterior con reflexión, a partir de esta consideración el programa calcula la cantidad de radiación que incide sobre cada superficie de la zona, incluyendo piso, paredes y ventanas, proyectando los rayos del sol a través de las ventanas exteriores. Los otros parámetros como cargas de convergencia, la temperatura de convergencia, y el número máximo de días de calentamiento son predeterminados por el programa.

Figura 31. Campo para ingresar los parámetros del edificio.

Field	Units	Obj1
Name		POLOBAYA
North Axis	deg	0
Terrain		Country
Loads Convergence Tolerance Value		0.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0.4
Solar Distribution		FullInteriorAndExteri
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		

*Nota. Campo para ingresar los parámetros del edificio.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.3.2.3 Ubicación del módulo bioclimático

En este campo (**Figura 32**), se describe la localización del recinto y se empieza por darle un nombre, en nuestro caso colocamos Polobaya. Luego ingresa su latitud, longitud, zona horaria y altura.

Figura 32. Campo para ingresar la localización de los módulos.

Field	Units	Obj1
Name		polobaya
Latitude	deg	-16.566
Longitude	deg	-71.269
Time Zone	hr	-5
Elevation	m	3449

*Nota. Campo para ingresar la localización de los módulos.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.3.2.4 Materiales

En este caso (**Figura 33**), se introducen los materiales utilizados en la construcción e incluso las cámaras de aire que existan en ventanas de doble vidrio, puertas o

espacios de aire entre materiales, todo ello acompañado de su rugosidad, espesor, densidad, conductividad térmica, calor específico y absorptividad. En el caso del presente estudio se consideraron las propiedades descritas en la norma EM.110.

Figura 33. materiales y sus propiedades termo físicas

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		TIERRA30CM	PIEDRA 10CM	MADERA 2cm	LADRI CORR. 12CM	CEMENTO ARENA	CALAMINA	P
Roughness		Rough	VeryRough	MediumSmooth	Rough	MediumSmooth	Smooth	N
Thickness	m	0.3	0.1	0.02	0.12	0.02	0.0005	0
Conductivity	W/m-K	0.52	1.4	0.23	0.84	1.4	232	5
Density	kg/m3	2050	1990	800	1700	2000	2700	7
Specific Heat	J/kg-K	1840	1000	1600	800	1000	920	4
Thermal Absorptance		0.88	0.9	0.9	0.9	0.9	0.03	0
Solar Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.09	0
Visible Absorptance		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.09	0

Nota. Campo de ingreso de los materiales y sus propiedades termofísicas.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

4.3.2.5 Construcciones

Las construcciones se crean a partir de la lista de materiales ingresados al programa donde cada construcción consta de uno o más materiales en forma de capas ingresados de afuera hacia dentro (**figura 34**).

Figura 34. Campo de creación de construcciones.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		PISO	PAREDES	PUERTA
Outside Layer		TIERRA30CM	CEMENTO ARENA	PUERTA DE METAL
Layer 2		CONCRETO 10CM	LADRI CORR. 12CM	
Layer 3		MADERA 2cm	CEMENTO ARENA	
Layer 4				
Layer 5				
Layer 6				
Layer 7				
Layer 8				
Layer 9				

Nota. Campo de creación de construcciones.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

4.3.2.6 Superficies y subsuperficies

Estos campos se relacionan con las superficies poligonales que dan forma al edificio, en ambos casos se ingresa un nombre ya sea para los tipos de superficies como pared, piso, techo, falso techo y tipo de subsuperficie como se ve en la **Figura 35** y ventanas, puertas y claraboyas como se ve en la **Figura 36**. En seguida se ingresa el nombre de la construcción creada para tal superficie o subsuperficie, nombre de la zona térmica a la que pertenece, la frontera a la que está expuesta y finalmente si está expuesta al Sol y viento.

Figura 35. Campo de ingreso de las superficies

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		YESO 4	PARED S ATICO	YESO 2	PARED N ATICO	YESO 1	YESO 3
Surface Type		Floor	Wall	Wall	Wall	Wall	Floor
Construction Name		CUBIERTA DE YESO	PAREDES	CUBIERTA DE YESO	PAREDES	CUBIERTA DE YESO	CUBIERTA DE YESO
Zone Name		ATICO	ATICO	ATICO	ATICO	ATICO	ATICO
Outside Boundary Condition		Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition Object							
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind
View Factor to Ground		0					0
Number of Vertices		4	5	4	5	4	4

*Nota. Campo de ingreso de las superficies que dan forma al edificio.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

Figura 36. Campo de ingreso de las subsuperficies

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		PUERTA ESTE	VENT. ESTE	VENT. OESTE
Surface Type		Door	Window	Window
Construction Name		PUERTA	VENTANA	VENTANA
Building Surface Name		PARED E	PARED E	PARED O
Outside Boundary Condition Object				
View Factor to Ground				
Shading Control Name				
Frame and Divider Name				
Multiplier				
Number of Vertices		4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	5.133441	5.133441	0.133441

*Nota. Campo de ingreso de las subsuperficies que dan forma al edificio.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.3.2.7 Infiltraciones o intercambios por flujo de aire

Los ACH o infiltraciones son los ingresos de aire no intencionados al interior de una edificación. En este campo (**Figura 37**), se ingresa un nombre, nombre de la zona a la cual corresponde la información a proporcionar, calendario u horario asignado al flujo de aire infiltrado y el método de cálculo del diseño del flujo de aire que para este estudio consideramos intercambios de aire por hora.

Figura 37. Campo de ingreso de las infiltraciones de aire (ACH).

Field	Units	Obj1
Name		INFILTRACIONES
Zone or ZoneList Name		AULA
Schedule Name		INFILTRACIONES
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s	
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2	
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2	
Air Changes per Hour	1/hr	1
Constant Term Coefficient		1
Temperature Term Coefficient		
Velocity Term Coefficient		

*Nota. Campo de ingreso de las infiltraciones de aire (ACH).
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.3.2.8 Termostatos

Los termostatos regulan la temperatura interior a partir de unos valores máximos (calefacción) y mínimos (enfriamiento) que son permisibles dentro de una zona térmica o ambiente interior. En este campo (**Figura 38**), se ingresa dos termostatos, uno de calentamiento y otro de enfriamiento a la temperatura a la cual se desea mantener el interior, en este caso a 15°C.

Figura 38. Campo de ingreso para termostatos

Field	Units	Obj1
Name		aula Thermostat
Zone or ZoneList Name		AULA
Control Type Schedule Name		HVACTemplate-Allw
Control 1 Object Type		ThermostatSetpoint:
Control 1 Name		caefactor Dual SP C
Control 2 Object Type		
Control 2 Name		
Control 3 Object Type		
Control 3 Name		
Control 4 Object Type		
Control 4 Name		

Nota. Campo de ingreso para termostatos.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

4.3.3 Variables de salidas de la simulación

De entre las muchas variables de salida en el presente estudio vamos a considerar la temperatura interior, temperatura de confort o bienestar térmico para Uzuña – Polobaya según modelo adaptativo empleado (**Figura 39**) y requerimientos energéticos para calefacción para una temperatura de confort estandarizada (**Figura 40**).

Figura 39. Campo de selección de las variables de salida para temperaturas y humedad.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Key Value		*	*	*	*
Variable Name		Zone Mean Air Tem	Site Outdoor Air Dry	Site Outdoor Air Rel	Zone Air Relative H
Reporting Frequency		Hourly	Hourly	Hourly	Hourly
Schedule Name					

Nota. Cuadro de variables de salida de temperatura y humedad.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Figura 40. Campo de selección de las variables de salida de energía.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Key Value		*	*	*
Variable Name		Zone Mean Air Temperature	Zone Air System Sensible Heating Energy	Zone Air System Sensible Cool
Reporting Frequency		Hourly	Hourly	Hourly
Schedule Name				

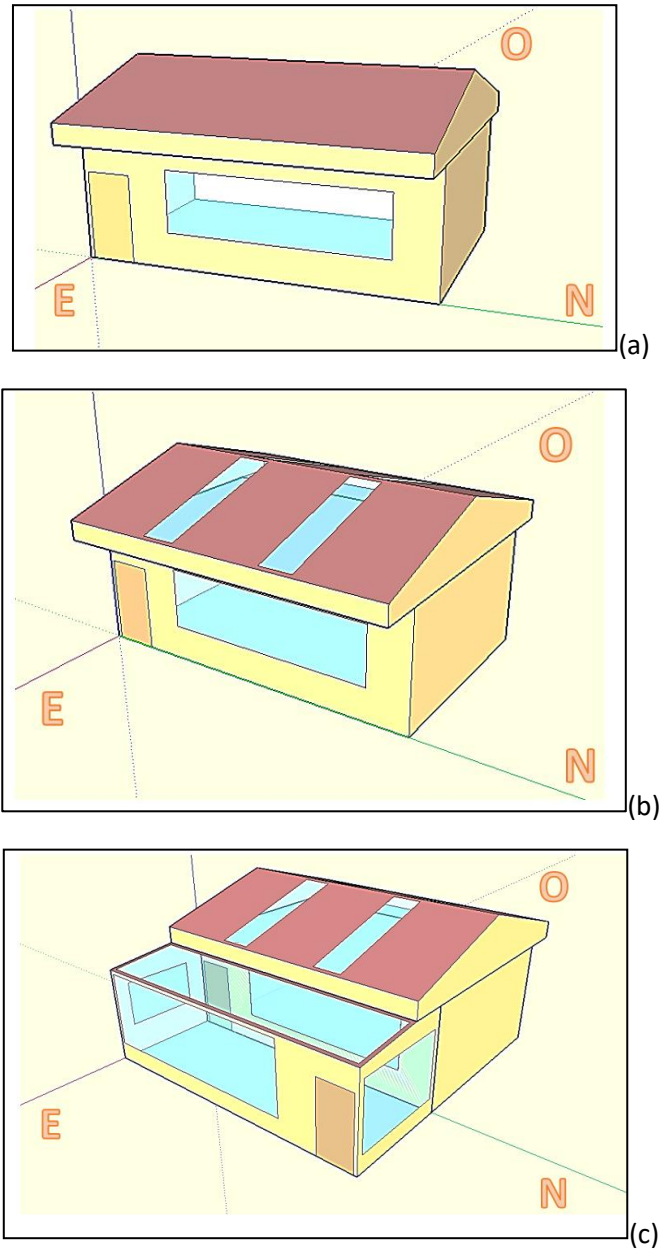
*Nota. Cuadro de variables de salida de energía de calentamiento y enfriamiento.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.4 Resultados y análisis del comportamiento térmico energético del módulo bioclimático

Los resultados presentados y analizados de forma térmica del diseño de módulos experimentales para el mes más frío y de “helada” en Polobaya, de acuerdo a la data climática considerada para la simulación y generada con *Meteonorm* para un año típico meteorológico. El análisis de la temperatura interna es prioridad partiendo del Módulo típico al cual se le van adicionando mejoras en el aislamiento y sistemas de climatización natural que aprovechen la radiación solar directa o indirecta como las claraboyas en el techo o invernadero adosado por la cual, cada adición o mejora diferente se analizará como un nuevo diseño de módulo mejorado, Módulo Mejorado 1, Módulo Mejorado 2.

El diseño de los módulos en 3D se realiza empleando el entorno del *SketchUp* con las herramientas del Legacy *OpenStudio* dando como resultado las imágenes mostradas en la **Figura 41**. Las simulaciones dinámicas empleando el *EnergyPlus 8.4*, se realizan considerando que, desde la concepción del diseño e implementación de la vivienda o edificación, las infiltraciones están corregidas o eliminadas.

Figura 41. Vistas modificadas en SketchUp de los módulos



Nota. Vistas modificadas en SketchUp de los módulos a simular con el EnergyPlus, (a) Módulo típico, (b) módulo Mejorado 1, (c), módulo Mejorado 2.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

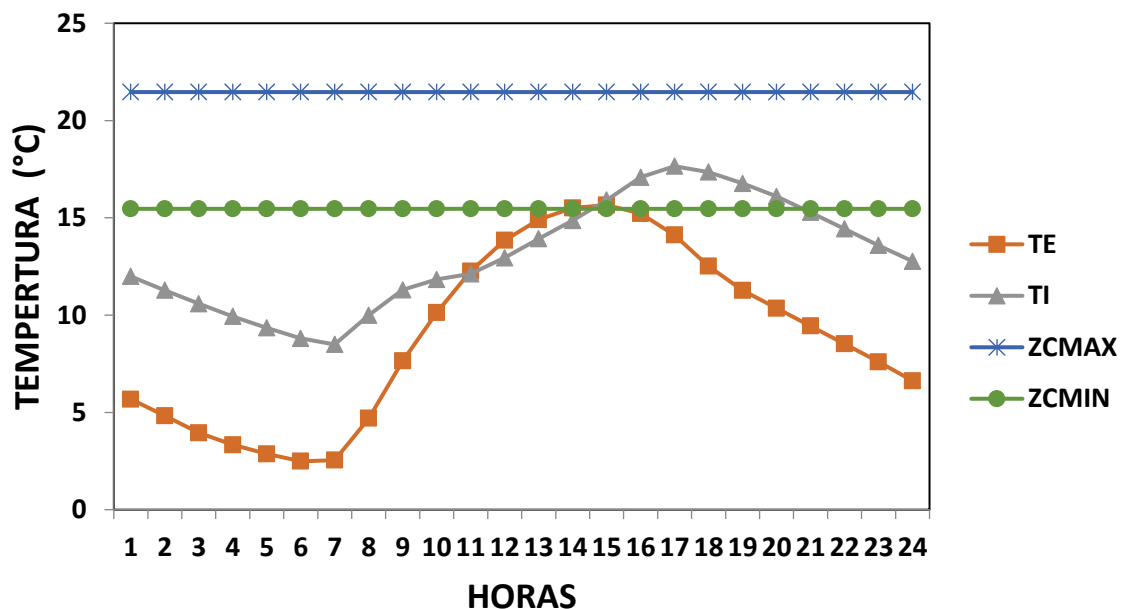
4.4.1 Comportamiento térmico del diseño de módulo bioclimático

Se presentan los resultados y análisis de la simulación de cada uno de los diseños de módulos, desde el módulo típico (MT), hasta el último módulo mejorado (Módulo tipo 2), considerando en cada caso, mejoras de aislamiento en los elementos de la envolvente o adicionando sobre ello, sistemas de climatización natural pasiva utilizando el Sol como fuente natural de energía, ya sea de forma directa utilizando claraboyas en el techo, o indirectamente con una precámara adosada.

4.4.1.1 Módulo Típico

De acuerdo a las características de la envolvente del MT descrita en la 4.2.3 (*Técnicas bioclimáticas aplicadas a la envolvente*), donde el piso es de madera, paredes de ladrillo, techo de calamina metálica, ventana de marco de fierro y vidrio simple y una puerta de hoja metálica, se obtiene la gráfica que se muestra en la **Figura 42**, que representa la temperatura promedio horaria interior (Ti), y la temperatura exterior (To), para el mes de julio.

Figura 42. Temperatura promedio horaria interior (TI) para el MT y exterior (TE).



Nota. Temperatura promedio horaria interior (TI) para el MT, exterior (TE), zona de confort (ZC MÍN) y (ZC MÁX).

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

De la **Figura 42** y **4.2.3 (Técnicas bioclimáticas aplicadas a la envolvente)**, la envolvente del MT no está cumpliendo con el propósito de amortiguamiento de la T_i como se desearía esperar y ello se puede asegurar que se debe al material del falso techo como es el panel de yeso; primero, por ser muy grueso, presenta mayor resistencia al paso del calor de un lado a otro y ser poco conductivo; segundo, el material del techo es calamina metálica es muy delgada y presenta poca resistencia al paso del calor de un lado a otro y ser altamente conductivo, solo se mantiene el calor en el ático pero al interior del MT durante el día sigue presentando temperaturas bajas en el horario de estudio, y en la madrugada la temperatura desciende considerablemente al punto de estar por los 10°C , esto justifica porque la temperatura interior aumenta ligeramente respecto a la exterior. Además, en la madrugada la temperatura superficial baja por la envolvente del techo, puerta metálica y ventanas de vidrio simple. Mientras que a partir de las 7am a 5pm la temperatura va en crecimiento ya que el techo es el que recibe de forma directa la irradiación solar en mayor proporción que los demás elementos de la envolvente sin embargo en las horas donde los alumnos estudian sigue estando por debajo de la zona de confort que podría deberse a los otros elementos constructivos el cual no retienen la suficiente energía calorífica.

El retardo térmico de la envolvente del MT si bien es de 22 horas (**Tabla 19**), no se presenta idóneo en las horas que se desee recupere el calor almacenado en la envolvente como son en las horas críticas de la mañana, este se recupera según los resultados en horas a partir de las 2- 3pm.

Tabla 19. Oscilación y retardo térmico para el MT.

	Exterior	Interior
Oscilación	13.16°C	9.16°C
Retardo	22h	

*Nota. Oscilación y retardo térmico, Text en °C, retardo en horas.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

Estos resultados se obtienen considerando una infiltración mínima permitida por la norma que es 1 por hora y a partir de las 3pm a 12pm, lo cual no es lo óptimo. (**Figura 43**)

Figura 43. Infiltraciones del aula MT

Field	Units	Obj1
Name		INFILTRACIONES
Schedule Type Limits Name		Number
Field 1	varies	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 08:00
Field 4	varies	0
Field 5	varies	Until: 15:00
Field 6	varies	1
Field 7	varies	Until: 24:00
Field 8	varies	0
Field 9	varies	

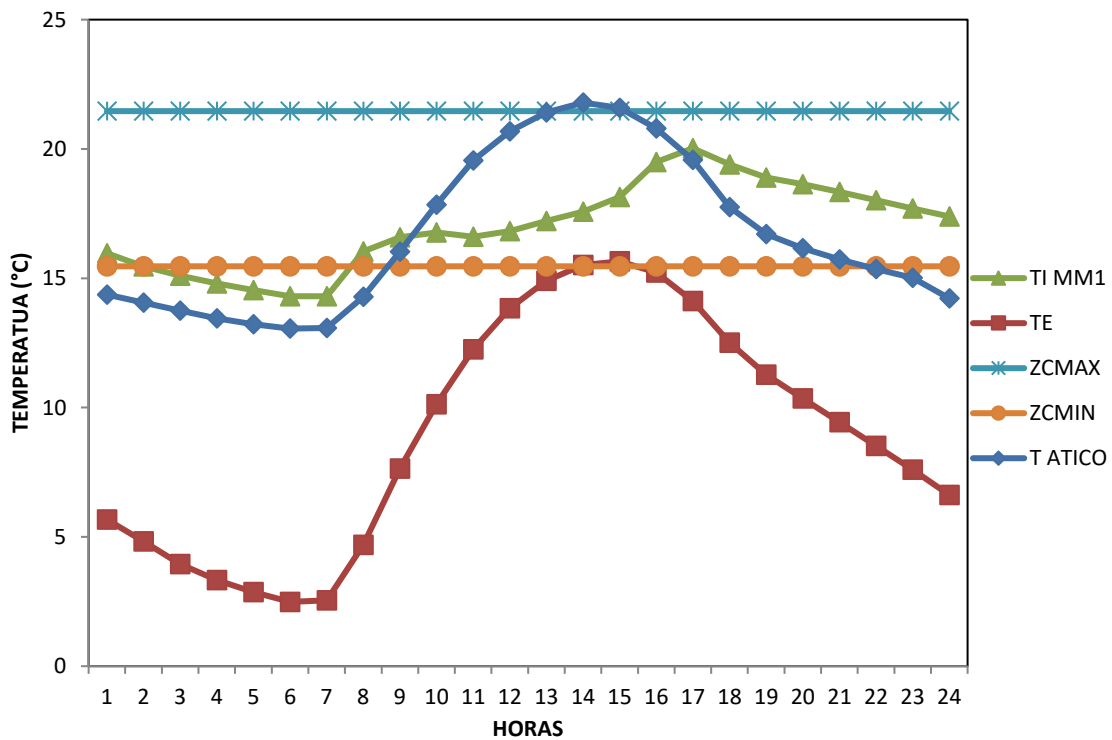
*Nota. Infiltraciones del aula MT según la norma EM110.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.4.1.2 Módulo Mejorado 1

El MM1 comprende el cambio de material del cielo raso por lámina metálica cubierta con pintura epóxica blanca la cara dirigida al salón y el revés de negro esto para una mejor captación del calor por el color negro y radiación por el color blanco, para las paredes se adicionó poliuretano y yeso, así como, la adición de claraboyas e ichu en el techo, cambio de ventana a vidrio doble y marco de madera y la puerta de madera. Se resaltaré el aporte térmico sólo por dichas implementaciones frente al MT.

La **Figura 42** muestra la gráfica del comportamiento de la temperatura horaria interior (T_i) del MM1 y la del espacio entre techo y falso techo denominado como ático ($T_{\text{ático}}$), frente a la temperatura horaria exterior (T_o). Es notorio el amortiguamiento de la T_i con la configuración de techo y falso techo especialmente, y demás configuraciones de la envolvente para este caso. Como se mencionó anteriormente, esta configuración de techo y falso techo presenta mejores prestaciones térmicas frente a la configuración del módulo típico y la ventaja de un menor costo, además una parte de los materiales utilizados están más a disposición de ser ubicados en las regiones de zonas rurales.

Figura 44. Temperatura horaria interior, MM1 (Ti).



Nota. Temperatura horaria interior, MM1 (Ti), y ático (Tático); y temperatura horaria exterior (To) Zona de confort mín (ZC máx.), y Zona de confort mín. (ZC min).
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

El amortiguamiento se debe a que la configuración mejorada del techo con claraboyas permite la mayor captación de energía solar y reduce la pérdida de calor en la mañana y en la noche y el falso techo transfiere a manera de radiación la energía hacia las personas, así como también permite renovar el aire dos veces más, todo ello lo conlleva a un amortiguamiento de 5.72°C. El retardo térmico se mantiene en 22 horas. (**Tabla 20**).

Tabla 20. Oscilación y retardo térmico para el MT1.

	Exterior	Interior
Oscilación	13.16°C	9.72°C
Retardo	22h	

Nota. Oscilación y retardo térmico, Text en °C, retardo en horas.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Estos resultados se obtienen considerando una infiltración en la mañana y dos en la tarde como indica en la. (**Figura 45**)

Figura 45. Infiltraciones de Módulo mejorado 1

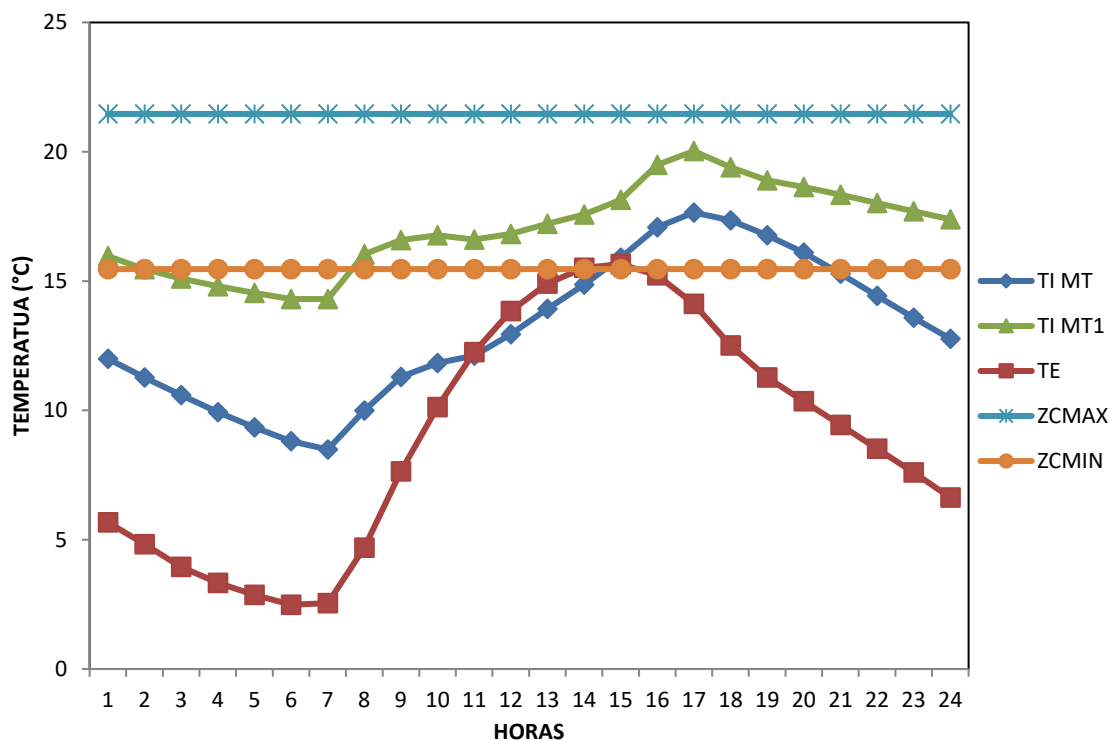
Field	Units	Obj1
Name		INFILTRACIONES
Schedule Type Limits Name		Number
Field 1	varies	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 08:00
Field 4	varies	1
Field 5	varies	Until: 15:00
Field 6	varies	2
Field 7	varies	Until: 24:00
Field 8	varies	0
Field 9	varies	

Nota. Infiltraciones del aula MM1.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

De la **Figura 46** dado a que el MM1 se diferencia del MT en que el primero lleva claraboyas en el techo y falso techo metálico, se puede inferir que el aporte de las claraboyas en horas extremas de la mañana, 07:00 a.m., es de 5,8°C, y respecto al exterior de 11.76°C. De la misma figura se observa que en todo momento la Ti del MM1 está por encima de la Ti del MT, de este resultado se puede inferir que esto sucede porque en el día la radiación solar que ingresa por las claraboyas se almacena en las paredes y el interior del ático, por eso la temperatura interior en el día del MM1 es mayor al del MT, y en la madrugada este calor almacenado es devuelto paulatinamente al interior del MM1 y por eso en la madrugada se invierte el comportamiento.

Figura 46. Comportamiento de la temperatura interior (Ti) horaria del MT y MM1 frente a la temperatura exterior (To).



*Nota. Comportamiento de la temperatura interior (Ti) horaria del MT y MM1 frente a la temperatura exterior (To), Zona de confort min (ZC máx.), y Zona de confort mín. (ZC mín.).
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

Cabe resaltar de la **Figura 46** el comportamiento de la temperatura horaria del ático, esta desde las 08:00 a.m., hasta las 22:00 p.m., se mantiene por encima de los 15°C y aumentan hasta los 22°C, estos resultados sugieren investigar de qué forma puede aprovecharse este calor almacenado en el ático, que repercuta al interior del módulo, tal vez con algún sistema de ductos mecánicos eléctricos que lleven el aire caliente al interior mediante circulación forzada y así pueda haber más renovaciones de aire.

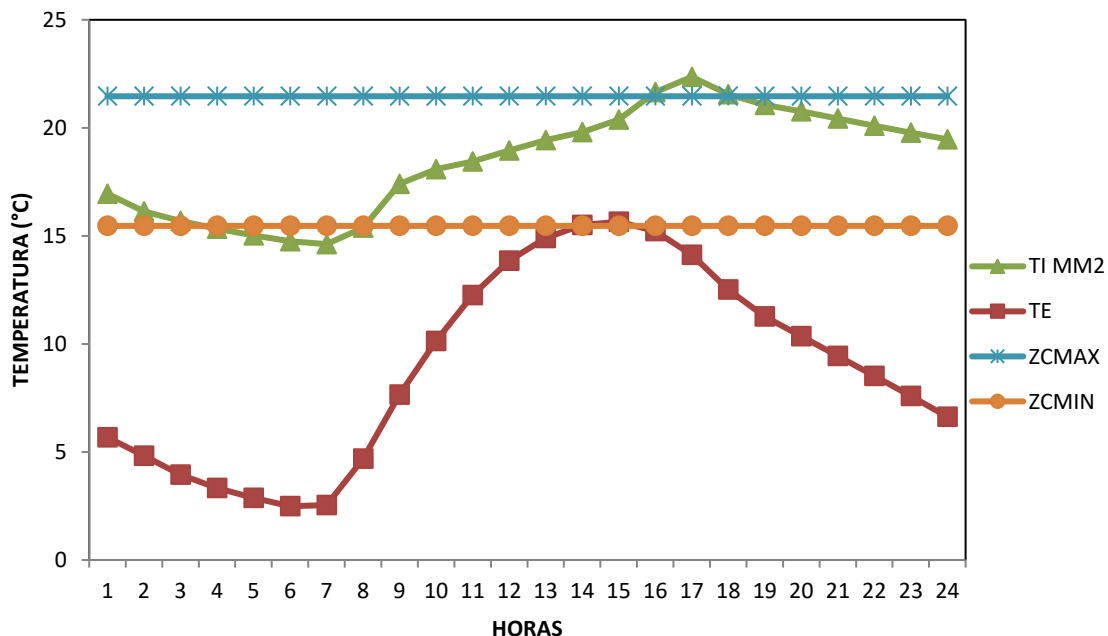
Es importante la recirculación y el reemplazo del aire que contamina por la respiración de las personas y hedor, las infiltraciones permiten en cierta forma el cambio o renovación de aire, muy necesaria, para reducir la concentración del CO2 principalmente.

4.4.1.3 Módulo Mejorado 2

En este caso al MM2 se le adiciona una pre-cámara a la pared orientada al norte donde, la puerta de ingreso al ambiente mismo del módulo, está en su interior, es decir, la puerta de ingreso principal es por la pre-cámara. Esta configuración es para evitar que el ambiente interior está en contacto con el aire exterior, al ingresar en su interior, también ingrese el aire frío y remueva el aire caliente, cosa que con la pre-cámara adosada incluso convendría abrir la puerta para que ingrese aire caliente de la pre-cámara al módulo.

La **Figura 47** muestra el comportamiento de la Temperatura horaria interior (Ti), con la temperatura exterior (To) para el mes de julio. Se observa un incremento del Ti en promedio de 1.46°C por cada hora transcurrida de 7am-3pm, tiempo en que los alumnos estudian. Se puede inferir de estos resultados que la pre-cámara adosada tiene un aporte térmico al interior mayor en 1.46°C. Considerando utilizar la envolvente de módulo mejorado 1 y pre-cámara, el costo por material de la pre-cámara por su mayor dimensión es mucho mayor, pero, lo que se pretende alcanzar son resultados que garanticen en lo posible el costo-beneficio.

Figura 47. Temperatura horaria, interior (Ti) y exterior (To) para el MM2.

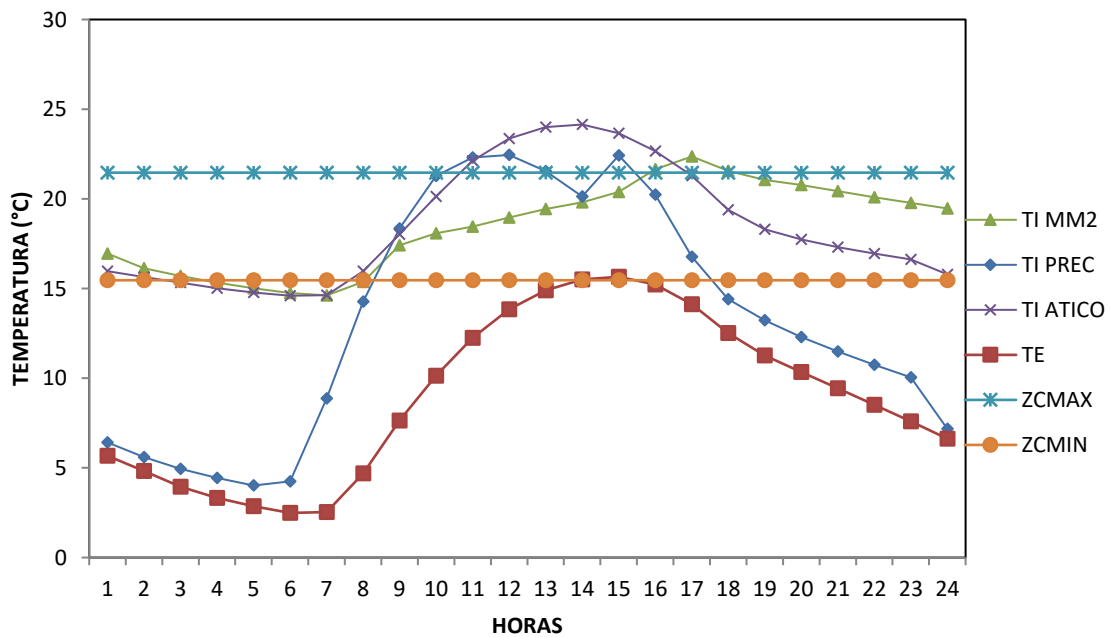


Nota. Temperatura horaria, interior (Ti) y exterior (To) para el MM2. Zona de confort min (ZC máx.), y Zona de confort mín. (ZC min).

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Graficando en conjunto las temperaturas horarias al interior del módulo (T_i), exterior (T_o), ático ($T_{\text{ático}}$), e pre-cámara ($T_{\text{pre-cámara}}$), se obtiene sus comportamientos en la **Figura 48**. La pre-cámara de acuerdo a su comportamiento térmico mantiene el calor acumulado en el día, en piso y paredes durante las actividades educativas de los alumnos dentro del confort térmico recomendado.

Figura 48. Temperaturas horarias, interior (T_i), exterior (T_o), ático ($T_{\text{ático}}$) y precámara (T_{prec}), para el mes de julio.



Nota. Temperaturas horarias, interior (T_i), exterior (T_o), ático ($T_{\text{ático}}$) y pre-cámara (T_{prec}), para el mes de julio. Zona de confort min ($ZC_{\text{máx}}$), y Zona de confort mín. (ZC_{min}). Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

La **Tabla 21** muestra la oscilación térmica para el mes de julio, con un amortiguamiento de la temperatura exterior de 13.16°C , y retardo térmico de 22 horas.

Tabla 21. Oscilación y retardo térmico para el MM2 con techo y falso techo, y pre-cámara

	Exterior	Interior
Oscilación	13.16°C	7.74°C
Retardo	22h	

Nota. Oscilación y retardo térmico para el MM2 con techo y falso techo, y pre-cámara. Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Estos resultados se obtienen considerando dos infiltraciones en la mañana y uno en la tarde mientras que el invernadero puede abrirse hasta 10 veces en la mañana y en la tarde para renovar el aire como indica en la. (**Figura 49**)

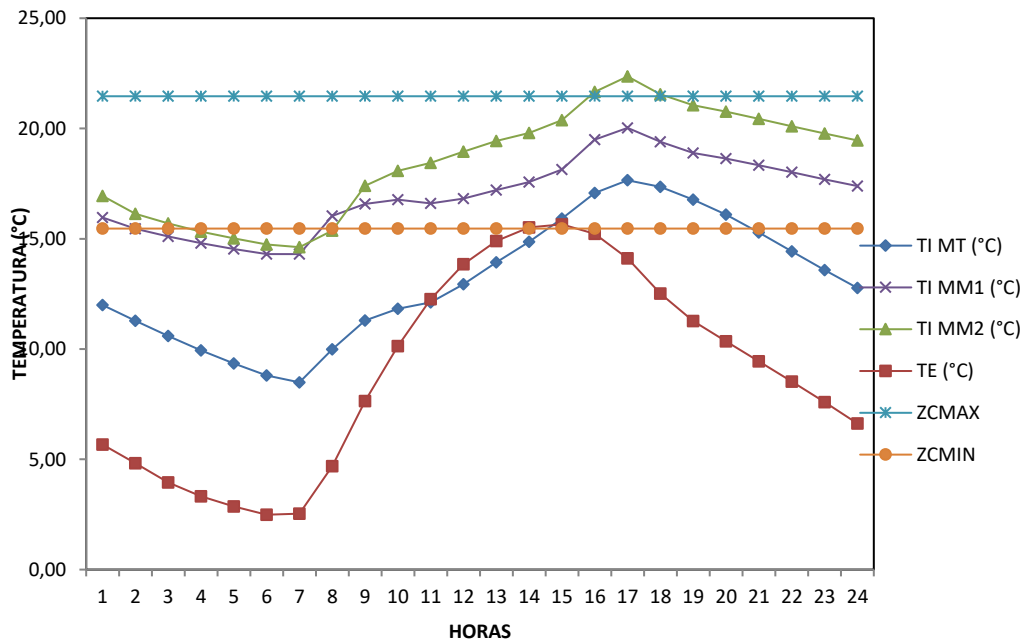
Figura 49. Infiltraciones de Módulo mejorado 2

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		INFILTRA AULA	INFILTRA PREC
Schedule Type Limits Name		Number	Number
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 08:00	Until: 08:00
Field 4	varies	2	10
Field 5	varies	Until: 15:00	Until: 15:00
Field 6	varies	1	10
Field 7	varies	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 8	varies	0	0
Field 9	varies		

Nota. Infiltraciones de Módulo mejorado 2. Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

La **Figura 50**, muestra comportamientos de los módulos considerados en la simulación y como propuestas de diseño, MT, MM1y MM2, y la **tabla 22** muestran los valores de dichos comportamientos. Se aprecia desde el MT al MM2, la temperatura en horas extremas de frío se incrementa de acuerdo a las adiciones consideradas en cada módulo ya sea de aislamiento o inclusión de sistemas de climatización natural directo e indirecto aprovechando la radiación solar como claraboyas o pre-cámara adosada, además del uso de ventanas con vidrio doble para evitar las fugas de calor en la noche y madrugada.

Figura 50. Temperatura horaria interior para el módulo típico, MM1 Y MM2



Temperatura horaria interior para el módulo típico, (MT), mejorado 1 y 2 (MM1 y MM2), para el mes más frío julio. Zona de confort min (ZCmáx), y Zona de confort mín. (ZC min). Respecto a la temperatura exterior.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

La **Tabla 22**, muestra los valores de las temperaturas interiores (Ti) horarias de los 3 diseños de módulos desde el MT hasta el MM2, y la temperatura exterior (To). De la tabla se observa que, en el día, el MM1 y MM2 a partir de las 07:00 a.m., hasta las 15:00 p.m., está en la zona de bienestar térmico.

Tabla 22. Resumen de valores de TI en los módulos y T_E para cualquier día del mes de julio.

HORA	TI MT (°C)	TI MM1 (°C)	TI MM2 (°C)	TE (°C)
1	11.99	15.97	16.95	5.67
2	11.28	15.46	16.13	4.83
3	10.59	15.10	15.70	3.95
4	9.93	14.80	15.33	3.33
5	9.35	14.54	15.02	2.87
6	8.80	14.31	14.75	2.49
7	8.49	14.30	14.62	2.54
8	9.99	16.04	15.38	4.69
9	11.30	16.58	17.41	7.65
10	11.83	16.77	18.08	10.13
11	12.12	16.60	18.45	12.26
12	12.94	16.83	18.95	13.84
13	13.93	17.21	19.43	14.90
14	14.86	17.58	19.80	15.51
15	15.91	18.15	20.38	15.65
16	17.08	19.49	21.66	15.22
17	17.65	20.03	22.36	14.12
18	17.35	19.40	21.56	12.51
19	16.77	18.90	21.06	11.27
20	16.10	18.64	20.77	10.35
21	15.28	18.33	20.43	9.44
22	14.43	18.01	20.09	8.52
23	13.58	17.70	19.77	7.60
24	12.77	17.39	19.46	6.63
PROM	13.10	17.00	18.48	9.00

*Nota. Resumen de los valores de TI en los módulos y T_E para cualquier día del mes más frío Julio.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

4.4.2 Requerimiento energético MT y MM2 para alcanzar una temperatura de bienestar térmico

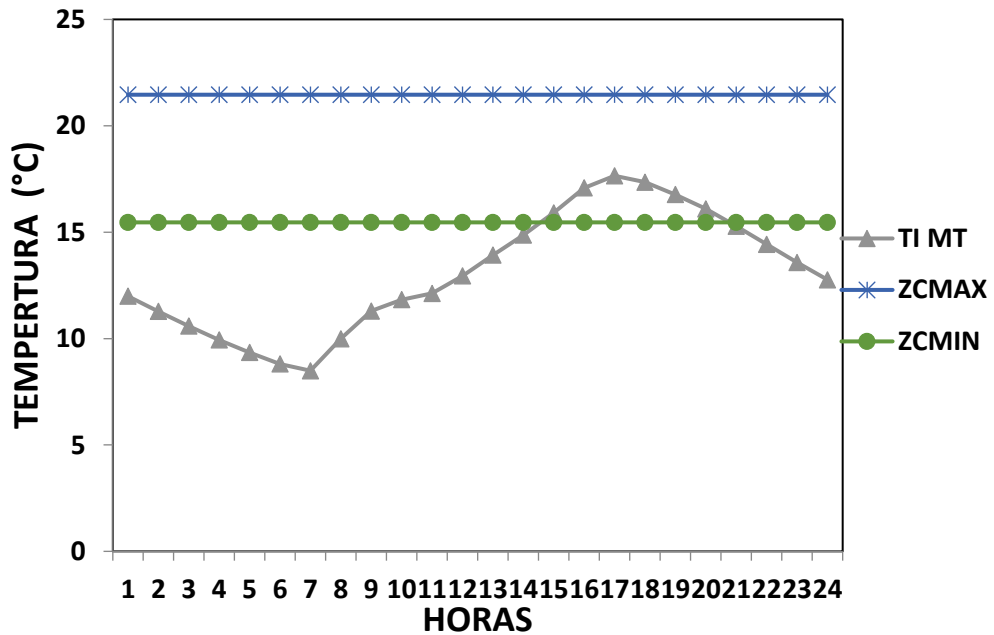
Se presenta los resultados de las simulaciones energéticas para el MT y MM2, y se determina los requerimientos en carga térmica de calefacción que se alcanza con cada uno de ellos en términos de ahorro de energía a partir de una temperatura interior a mantener constante. Para ello, se considera una temperatura referencial de bienestar térmico (T_n) a alcanzar según modelo adaptativo, que para Uzuña-Polobaya resulta ser $T_n=18.5^{\circ}\text{C}$, con límites o amplitud máximo ($ZC_{\text{máx}}$) y mínimo ($ZC_{\text{mín}}$) de bienestar de $\pm 3^{\circ}\text{C}$, para el mes más frío donde se ubica la temperatura extrema que se ha venido analizando según los resultados alcanzados del comportamiento térmico interior de los módulos típico y mejorados. Respecto de una temperatura de confort estandarizada utilizada por el ASHRAE de 23°C y amplitud de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (ver **Tabla 4**).

4.4.2.1 Requerimiento de carga térmica en calefacción en el MT

Se simula el MT con el interior a una temperatura constante de 18.5°C para determinar la carga térmica o energética de calefacción que se requiere para alcanzar dicha temperatura de acuerdo a su diseño, ubicación, uso de materiales, configuración de los elementos constructivos de la envolvente, y archivo de clima.

La **Figura 51** representa la temperatura interior (T_i) y los límites de la zona de bienestar térmico comprendidos por la zona entre las líneas verde y azul. Se observa que, para un día referencial de estudio y frío extremo para el mes de julio, el MT presenta 6 horas de bienestar térmico.

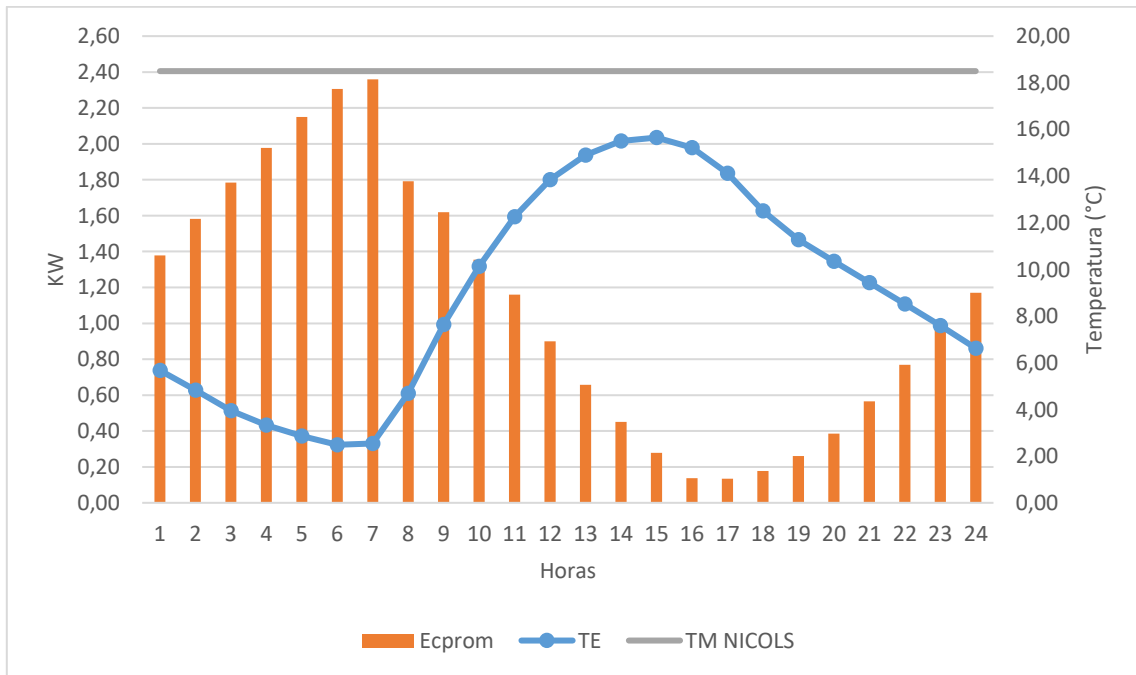
Figura 51. Temperatura interior (Ti) horaria y límites de la zona de bienestar térmico en el MT



Nota. Temperatura interior (Ti) horaria y límites de la zona de bienestar térmico en el MT (temperatura de bienestar, 18.5°C), máximo (ZC_{máx}=22,5°C) y mínimo (ZC_{mín}=15,5°C). Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

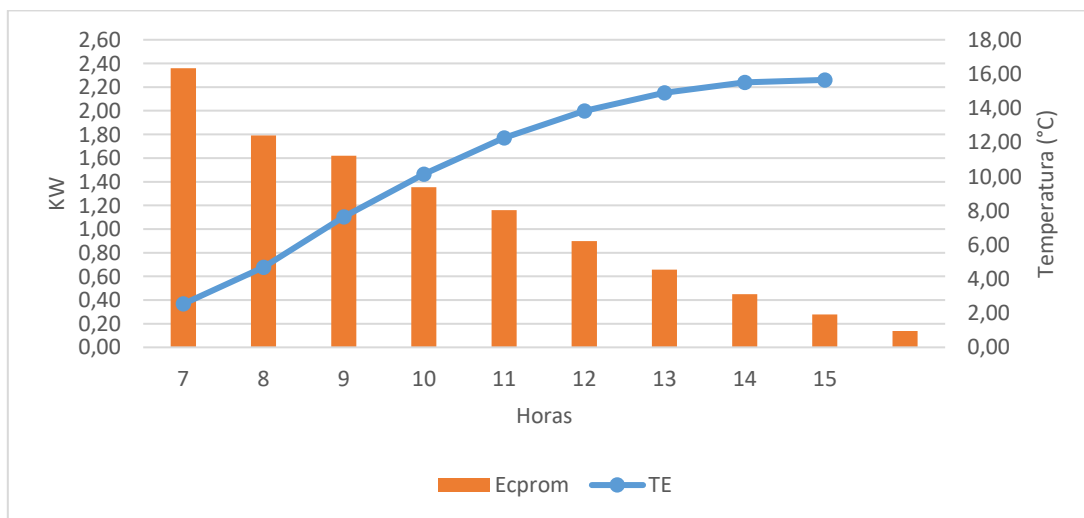
La **Figura 52** corresponde a la cantidad de energía que se requiere en el MT para alcanzar una temperatura interior de 18.5°C constante. Con un mínimo de 0,13kWh a las 17:00 p.m., y máximo de 2,36kWh a las 07:00 a.m., durante las 24 horas requiere en total 26.31kWh para cubrir cada hora la demanda en calefacción. Entre las 7:00 a.m. y 15:00 p.m., se requiere 10.71 KWh, que es lo que se necesita para cubrir la demanda del horario de estudio de los alumnos.

Figura 52. Requerimiento de energía de calefacción horaria (E_{calet}) para el MT a 18.5°C.



Nota. requerimiento de energía de calefacción horaria (E_{calet}) para el MT a 18.5°C. Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Figura 53. Requerimiento de energía de calefacción horaria



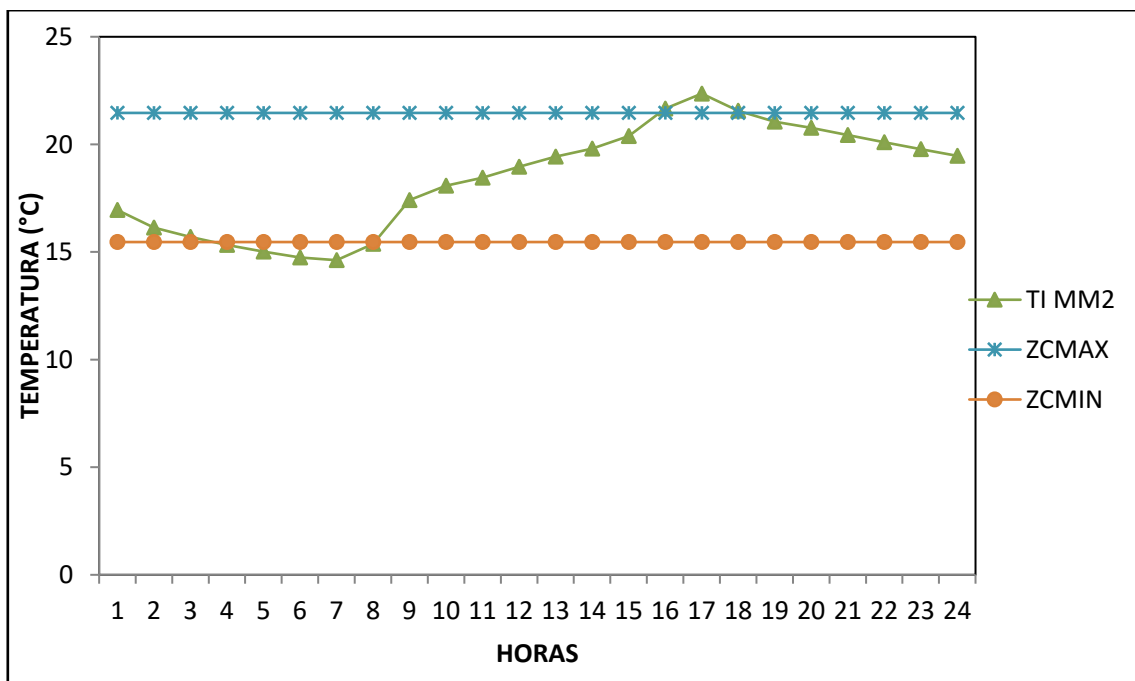
Nota. Requerimiento de energía de calefacción horaria (E_{calet}) para el MT a 18.5°C de 7:00am – 15:00pm.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

4.4.2.2 Requerimiento de carga térmica en calefacción en el MM2

Se presenta los resultados de la simulación dinámica para el diseño final de módulo mejorado MM2, sobre la cantidad de energía de calefacción que requiere para mantener la temperatura interior constante en 18.5°C, temperatura de bienestar térmica según modelo adaptativo para Uzuña - Polobaya. La **Figura 54** muestra la temperatura interior (Ti) del MM2 respecto de la zona de bienestar que comprende el interior de las líneas en celeste y naranja. Se aprecia de la gráfica que casi el 100% de las horas, la Ti está por encima de la zona de bienestar.

Figura 54. Temperatura interior (Ti) horaria y límites de la zona de bienestar térmico en el MM2



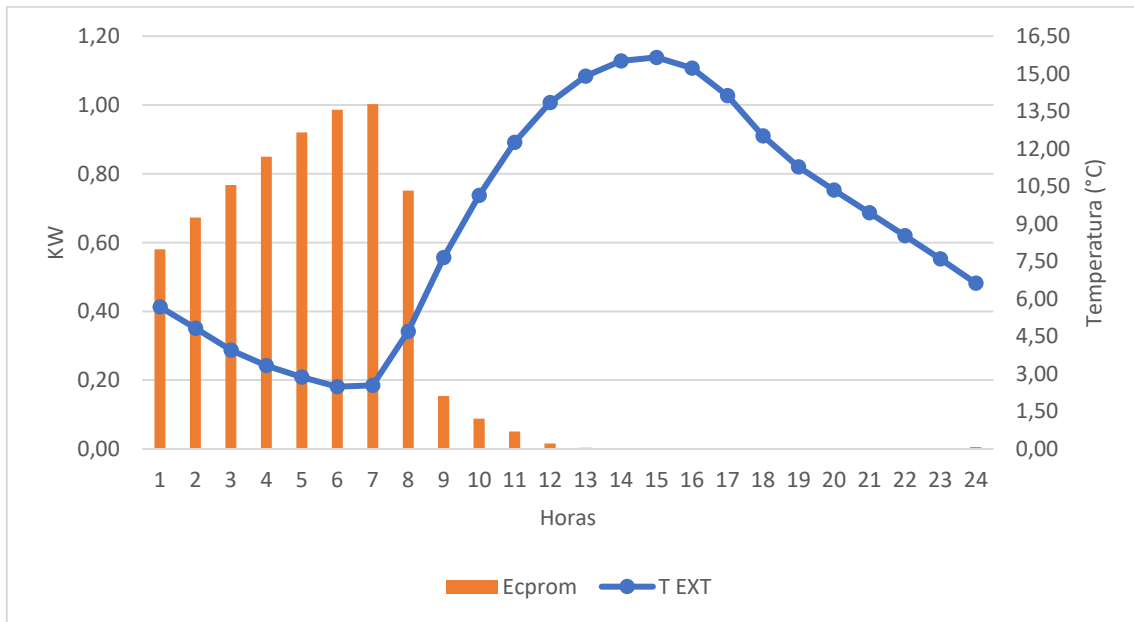
Nota. Temperatura interior (Ti) horaria y límites de la zona de bienestar térmico en el MM2 (temperatura de bienestar, 18.5°C), máximo (ZCmáx=22,5°C) y mínimo (ZCmín=15,5°C).

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

La **Figura 55** muestra la cantidad de energía horaria requerida para alcanzar la temperatura de bienestar térmico al interior MM2. Se observa que desde las 12:00 m., hasta las 12:00 p.m., no hay requerimiento de calefacción. En las demás horas hay un requerimiento mínimo de 0,1kWh a las 9:00 a.m., y máximo de 1kWh a las 07:00 a.m., en total para el día de referencia de frío extremo se requiere 6.85kWh.

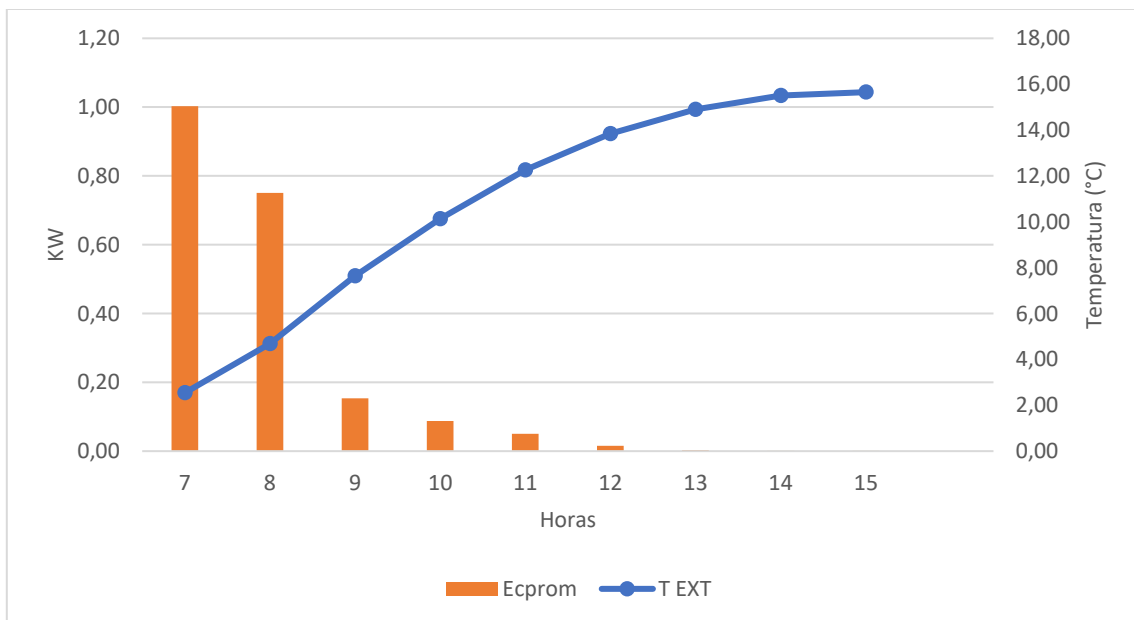
Entre las 7:00 a.m. y 15:00 p.m., se requiere 2.06 kWh que es lo que se necesita para cubrir la demanda del horario de estudio de los alumnos.

Figura 55. Requerimiento de energía de calefacción horaria (E_{calef}) para el MM2 a 18.5°C.



*Requerimiento de energía de calefacción horaria (E_{calef}) para el MM2 a 18.5°C.
Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada*

Figura 56. Requerimiento de energía de calefacción horaria (E_{calef}) para el MT



Nota. Requerimiento de energía de calefacción horaria (E_{calef}) para el MT a 18.5°C de 7:00am – 15:00pm.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Tabla 23. Resumen del requerimiento de energía de calefacción en el MT, MM1 y MM2

Módulo		Energía requerida 24h (KWh)	Energía Requerida 7AM-3PM (KWh)	Energía de MT 7AM-3PM (KWh)	Ahorro (KWh)
Módulo Típico	Prom. mín.	0.00	0.27		
	Prom. Med.	1.20	1.17		
	Prom. máx.	2.93	2.36		
Módulo Mejorado 1	Prom. mín.	0.00	0.09	0.27	
	Prom. Med.	0.38	0.39	1.17	0.78
	Prom. máx.	1.22	0.93	2.36	1.43
Módulo Mejorado 2	Prom. mín.	0.00	0.00	0.27	
	Prom. Med.	0.29	0.23	1.17	0.94
	Prom. Máx.	1.32	1.00	2.36	1.36

Nota. Resumen del requerimiento de energía de calefacción en el MT, MM1 y MM2 a temperatura interiores constantes de 18.5°C.

Fuente: Elaboración propia en base a la investigación realizada

Conclusiones

1. Se modeló la propuesta de módulo bioclimático más óptimo y analizó la influencia de los materiales considerados en la envolvente entre otras técnicas bioclimáticas como el cielo raso con material de láminas metálicas obteniendo un requerimiento energético menor que permite obtener una temperatura interna que se encuentre dentro de la zona de confort.
2. Se realizó el diagnóstico climático en Uzuña- Polobaya, se obtuvo una temperatura promedio de 9.2°C en el mes de julio considerado como el más frío del año. En todo el año la temperatura promedio es de 10.6°C , la humedad relativa tiene un comportamiento inverso a la temperatura, siendo lo más bajo entre las 9-18hrs de 16 a 27% y las máximas en febrero de alrededor de 98% desde las 1am hasta las 6 h del día siguiente. En cuanto a la velocidad del viento, la dirección predominante es al este con una velocidad de 2- 4 m/s del 13.3% a 31.4% del viento. La radiación solar en Uzuña, promedio anual es de $6.08 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{día})$ y para el mes requerido como es julio se tiene $4.83 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{día})$.
3. Según el método de Givoni, consideró las siguientes estrategias pasivas las cuales se aplicaron en la propuesta de diseño de módulo bioclimático; obtener las ganancias por habitabilidad de personas, iluminación, materialidad de la envolvente, orientación óptima para el aprovechamiento de manera natural la captación de la radiación solar de manera directa e indirecta.
4. Según Givoni convenía utilizar materiales con valores aproximados de calor específico alrededor de los 800 a $1500 \text{ J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ conductividad térmica del orden de $0.X \text{ W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$, y densidades entre 600 a $3000 \text{ kg}/\text{m}^3$. Así que se consideró materiales que cumpla con los requerimientos de la norma EM110 de la zona bioclimática Mesoandina, que pide Transmitancia térmica máxima del muro $2.36(\text{W}/\text{m}^2\text{C})$, techo $2.21(\text{W}/\text{m}^2\text{C})$ y piso $2.63 (\text{W}/\text{m}^2\text{C})$.
5. Para la propuesta de diseño bioclimático se realizó dos modelos con sus respectivas envolventes mejoradas respecto al modelo típico que existe en la actualidad, la envolvente aplicada por el estado peruano.
6. Se ha realizado la simulación del modelo típico con la estrategia bioclimática aplicada por el estado peruano y se analizó su comportamiento térmico, luego

se analizaron los dos modelos mejorados a partir de modelo típico obteniendo resultados positivos acerca de su comportamiento y aporte térmico.

Recomendaciones

1. La herramienta del Energy plus es fundamental hoy en día para analizar el comportamiento de los factores bioclimáticos dentro de un recinto y acondicionar con técnicas bioclimáticas necesarias la envolvente según la zona bioclimática.
2. Las propuestas de mejoras pasivas descritas en este estudio dependen de las características climáticas, el acceso a los materiales en cada zona bioclimática y los sistemas constructivos. Esto se debe a que cada uno tiene una especificidad diferente. Es importante promover estas alternativas de mejora energética a residentes y profesionales de la construcción para que puedan ser aplicadas, mejoradas o modificadas en futuras intervenciones en el diseño de viviendas y escuelas existentes o nuevas.
3. La máxima difusión es importante no solo para la ciudad de Arequipa, sino también para todas las ciudades del Perú que comparten características climáticas similares. Hasta ahora, no se le ha dado suficiente peso a este tema.
4. De igual forma, para cumplir con la normativa vigente en materia de eficiencia energética, es importante difundir los beneficios económicos otorgados por el Estado peruano. Además de garantizar el confort térmico en el recinto durante todo el año, aplicación de estándares de eficiencia.
5. Para un aula bioclimática es necesario considerar un ambiente adosado para evitar cambios bruscos de temperatura en la persona, lo que puede provocar enfermedades respiratorias.
6. De todas las estrategias, la plancha metálica como falso techo genera un gran impacto en el aumento de la temperatura interna y a la vez reduce el requerimiento energético; sin embargo, durante los meses de agosto a diciembre cuando la temperatura externa promedio es 19°C se debe considerar más infiltraciones ya que la temperatura interna puede llegar hasta por encima de la zona de confort.

Referencias bibliográficas

- Alvarino, Y., & Bautista, V. C. (2016). Análisis de las variables climatológicas temperatura, humedad relativa, precipitación, evaporación, brillo solar, radiación, velocidad y dirección del viento, medidas por la estación meteorológica “argelia” entre los años 1993-2013 para verificar la variabilidad climática del municipio de girardot [Thesis]. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/277>
- Arias Gonzales, J. L. (2020). Proyecto de tesis guía para la elaboración (Primera). Jose Luis Arias Gonzales. www.agogocursos.com
- Cruz, R. E. la. (2016, julio 15). Frío y olvido en los Andes. El País. https://elpais.com/elpais/2016/07/13/planeta_futuro/1468419517_148536.html
- EnergyPlus. (2022). EnergyPlus. EnergyPlus. <https://energyplus.net/>
- Espinoza, R., Molina, J., Horn, M., & Gómez, M. M. (2015). CONCEPTOS BIOCLIMÁTICOS Y SU APLICABILIDAD A LA ZONA RURAL ALTOANDINA: CASO COMUNIDAD SAN FRANCISCO DE RAYMINA (SFR)-AYACUCHO. *TECNIA*, 25(2), 5–5.
- Gaitan, Y. A., & Bautista, V. C. O. (1993). Análisis de las variables climatológicas temperatura, humedad relativa, precipitación, evaporación, brillo solar, radiación, velocidad y dirección del viento, medidas por la estación meteorológica “argelia” entre los años 1993 – 2013 para verificar la variabilidad climática del municipio de girardot. 98.
- Gómez-Azpeitia, G., Gonzalo Bojórquez Morales, & Torres, R. P. R. (2007). El confort térmico: Dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa* 2. 1, 45–57.
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación (sexta).
- Holman, J. P. (2003). Transferencia de Calor. Compañía editorial Continental S.A. de C.V.
- Huelsz, G., Barrios, G., Rechtman, R., & Rojas, J. (2009). Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación del desempeño térmico de la envolvente de una edificación. Centro de Investigación en Energía, Universidad Nacional Autónoma de México, 11–20.

Más del 30% de la población que vive en zonas afectadas por heladas está en edad vulnerable. (s. f.). Recuperado 26 de enero de 2022, de <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/mas-del-30-de-la-poblacion-que-vive-en-zonas-afectadas-por-heladas-esta-en-edad-vulnerable-9208/>

Molina Fuertes, J. O. (2018). Uso del programa Energyplus para la simulación del consumo energético de un módulo bioclimático ubicado en Imata, Arequipa a 4519 msnm.

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

Morillón, D., Saldaña, R., Castañeda, I., & Miranda, U. (2002). ATLAS BIOCLIMÁTICO DE LA REPUBLICA MEXICANA. 57-62,

Nicol, J. F., & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, 34(6), 563–572. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00006-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00006-3)

OpenStudio. (2022). OpenStudio. <https://openstudio.net/>

Pozo Leño, C. T. (2011). Determinación de estrategias de diseño bioclimático para la ciudad de Sucre (Bolivia). Universidad Internacional de Andalucía. <https://dspace.unia.es/handle/10334/1457>

SENAMHI - Perú. (s. f.). Recuperado 25 de enero de 2022, de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=heladas-y-friajes>

SketchUp. (2022). SketchUp. Drupal. <https://www.sketchup.com/es/plans-and-pricing/sketchup-studio>

Yunus Cengel & Afshin Ghajar. (2015). *Transferencia de Calor y Masa* (5ta ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Anexos

Anexo 1. Panel fotográfico de las instituciones visitas en la zona meso andina de Arequipa, siendo la INICIAL UZUÑA 1480416 – UZUÑA el modelo de estudio.



Escuela 40189 – PIACA – Pocsi

Nombre IE	40189
Nivel	Primaria
Centro poblado	PIACA
Distrito	Pocsi
Turno	Continuo sólo en la mañana
UGEL	UGEL Arequipa Sur



**Escuela 40216 – Huayllacucho – San
juan de Tarucani**

Nombre IE	40216
Nivel	Primaria
Centro poblado	Huayllacucho
Distrito	San Juan de Tarucani
Turno	Continuo sólo en la mañana
UGEL	UGEL Arequipa Sur



**Escuela 40215 – Agua Buena –
Polobaya**

Nombre IE	40215
Nivel	Primaria
Centro poblado	Agua Buena
Distrito	Polobaya
Turno	Continuo sólo en la mañana
UGEL	UGEL Arequipa Sur



**Escuela 40604– San Juan de Uzuña –
Polobaya**

Nombre IE	40604
Nivel	Primaria
Centro poblado	San Juan de Uzuña
Distrito	Polobaya
Turno	Continuo sólo en la mañana
UGEL	UGEL Arequipa Sur



**Escuela 40196– San Juan de Tarucani –
San Juan de Tarucani**

Nombre IE	40196
Nivel	Primaria / secundaria
Centro poblado	San Juan de Tarucani
Distrito	San Juan de Tarucani
Turno	Continuo sólo en la mañana
UGEL	UGEL Arequipa Sur



INICIAL UZUÑA 1480416 - UZUÑA

Nombre IE	1480416
Nivel	Inicial no escolarizado
Centro poblado	Uzuña
Distrito	Polobaya
Turno	Continuo sólo en la mañana
UGEL	UGEL Arequipa Sur

Anexo 2.

Panel fotográfico de INICIAL UZUÑA 1480416 – UZUÑA-POLOBAYA



Foto nº 01 interior de estructura de techo a dos aguas (calamina y cuarterones de madera)



Foto nº 02 interior de estructura, se observa la parte superior



Foto nº 03: interior del ambiente de estudio, techo de baldosas acústicas y ventanas de gran tamaño



Foto nº 04: exterior del ambiente de estudio, paredes de ladrillo caravista con vigas de amarre



Foto nº 05: interior de ambiente, se observa la puerta de ingreso



Foto nº 06: techo al interior del ambiente, de baldosa acústica con rieles de metal



Foto nº 07 fachada de principal de centro educativo



Foto nº 08 pizarras de cemento en mal estado, serán recubierto con pared de drywall



Foto nº 09: exterior de ambiente, puerta de ingreso, cobertura exterior de ambiente, donde se colocará una precámara



Foto nº 10: ingreso y ambiente adjunto al ambiente de intervención, paredes de albañilería con columnas y vigas de amarre de concreto armado



Foto nº 11:lateral derecho de ambiente de trabajo



Foto nº12: lateral izquierdo de ambiente de trabajo

Anexo 3. Plano de Módulo Típico.

Anexo 4. Plano de módulo mejorado 1

Anexo 5. Plano de módulo mejorado 2