



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Colima
División de Estudios de Posgrado e
Investigación

IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA MIXTA DE VENTILACIÓN EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA**

**PRESENTA:
ARQ. VICENTE XICOTÉNCATL DELGADO AMEZCUA**

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. ARQ. LUIS AARÓN GARCÍA SOLORZANO**

**CO-DIRECTORA:
DR. ARQ. RAÚL PÁVEL RUIZ TORRES**

VILLA DE ÁLVAREZ, COLIMA. ENERO 2023.



AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN



Instituto Tecnológico de Colima
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Villa de Álvarez, Colima, 26/enero/2023
Oficio No. DEPI 1.2.1.1/010/2023

DELGADO AMEZCUA VICENTE XICOTENCATL
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN
ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y
GESTIÓN URBANA
PRESENTE

La División de Estudios de Posgrado e Investigación de acuerdo al procedimiento para la obtención del Título de Maestría de los Institutos Tecnológicos y habiendo cumplido todas las indicaciones que la comisión revisora hizo a su trabajo profesional:

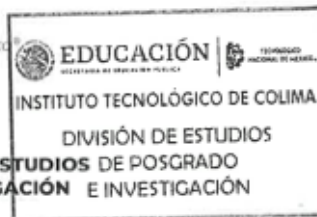
"IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIA MIXTA DE VENTILACIÓN EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO"

Por la opción de tesis, que para obtener el grado de **MAESTRO EN ARQUITECTURA SOSTENIBLE Y GESTIÓN URBANA** será presentada por Usted, tiene a bien concederle la **AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN** de la tesis citada.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial y afectuoso saludo.

ATENTAMENTE
Excellencia en Educación Tecnológica

PETER CHUNG ALONSO
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN E INVESTIGACIÓN

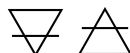


Ccp. Archivo

PCA/*cas



Av. Tecnológico 81, Col. Liberación C.P. 28976, Villa de Álvarez, Colima, Tel. 312 3129920 ext. 113 y 213, Correo electrónico: posgrado@colima.tecnm.mx www.colima.tecnm.mx



DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis increíbles Padres, Teresa y Vicente por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional que permitieron que logre culminar mi maestría.

A mis hermanos, Hiram y Montserrat por enseñarme a perseverar en la vida para alcanzar mis metas.

A mis sobrinos, Mateo y Valentina que este logro represente un estímulo para continuar adelante.

En especial a mi sobrina, Belén (†) los milagros Sí existen y sólo basta la FE para comprender lo inexplicable.

A toda mi familia, sin sus alientos constantes este proyecto habria sido imposible.

Los amo



AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer al Doctor en Arquitectura Luis Aarón García Solorzano, mi director de Tesis, por su ayuda, consejos y paciencia para la realización de este trabajo de maestría, por su valioso tiempo a la revisión y crítica de los documentos generados durante el desarrollo de este proyecto y por el tiempo dedicado en la supervisión y guía en el programa de maestría.

Gracias también al Doctor en Arquitectura Raul Pável Ruíz Torres por colaborar como co-director de mi Tesis, por su gran ayuda, sus inestimables consejos, comentarios y contribuciones en el desarrollo de este trabajo de Tesis, también por su paciencia y valioso tiempo dedicado en las largas sesiones en línea, y por sus invaluable sugerencias y críticas de los documentos generados durante el desarrollo de este trabajo de Tesis.

De la misma manera, quiero agradecer a mis revisores al Doctor en Arquitectura José Ricardo Moreno Peña y al Maestro Arquitecto José Fidel Navarro Arrellano, por sus sugerencias y comentarios tan oportunos a su firme conocimiento y que encaminaron esta investigación. Además, agradezco al cuerpo académico que conforma el Instituto Tecnológico de Colima en la Maestría en Arquitectura Sostenible y Gestión Urbana (MASGU) por el aprendizaje y la experiencia que me entregaron durante este proceso.

Gracias a la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) y a la Secretaría de Infraestructura, Desarrollo Urbano y Movilidad (SEIDUM) que me brindaron la confianza para trabajar de la mano durante mis estancias de movilidad y por brindarme el apoyo del equipo de medición para esta experimentación y Tesis las cuales fueron parte de mi proceso educativo y de investigación.



RESUMEN

La siguiente investigación de carácter cuantitativo, se enfoca en un análisis de enfriamiento en los espacios habitables con una implementación mixta de ventilación con un serpentín de tubos subterráneos y chimenea solar para un clima **cálido subhúmedo**, buscando desarrollar una estrategia pasiva que nos permitiera reducir temperatura y humedad relativa.

Teniendo como fundamento un análisis teórico y normativo, se sustentó el desarrollo metodológico y causi-experimental, a través de estos se obtuvieron los criterios para diseñar los módulos de estudio, así como las características necesarias a considerar para su desarrollo.

Consistió esta investigación en tres fases de trabajo, las cuales a continuación se describen: **investigación de estudio, caracterización experimental e interpretación de los resultados.**

La estrategia pasiva elegida para este experimento consistió en el uso de la **chimenea solar** de efecto instantánea de lámina galvanizada en color negro mate y serpentín de **tubos subterráneos** de polivinilo de cloruro (PVC), los cuales presentan características de convección y conductividad. Se crearon las condiciones necesarias por medio de los módulos de estudio, los cuales fueron diseñados con base a la normatividad analizada y permitiendo un flujo de ventilación a través de los mismos.

Los datos registrados durante el monitoreo en los módulos de estudio, uno de ellos como testigo y el otro con la aplicación de estrategia mixta de ventilación (módulo experimental) dentro de las configuraciones 4 y 5 indican como **satisfactoria** la hipótesis planteada que a la letra dice; “Un sistema de ventilación mixta, compuesto por un serpentín de tubo subterráneo y una chimenea solar, permitiera en un clima cálido subhúmedo, ingresar por medio de los tubos subterráneos aire al interior del espacio habitable; por lo que se infiere que se lograrán temperaturas interiores por debajo de la temperatura exterior”.

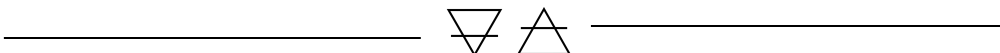


Dando como resultado sobresaliente que el módulo dotado del sistema mixto de ventilación, dentro de la configuración 4, presentó una temperatura promedio inferior a la que ocurrió en el módulo testigo y con los datos promedio de la micro estación, fueron de 1.7°C diferencia de temperatura se presenta por debajo del módulo experimental.

Mientras tanto como resultado sobresaliente que el módulo dotado del sistema mixto de ventilación, dentro de la configuración 5, presentó una temperatura promedio inferior a la que ocurrió en el módulo testigo y con los datos promedio de la micro estación, fueron de 1.1°C diferencia de temperatura se presenta por debajo del módulo experimental.

Palabras Clave

Sistema pasivo, temperatura, humedad relativa, viento, enfriamiento.



ABSTRACT

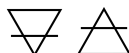
The following quantitative research focuses on an analysis of cooling in living spaces with a mixed implementation of ventilation with a subway tube coil and solar chimney for a hot **sub-humid climate**, seeking to develop a passive strategy that would allow us to reduce temperature and relative humidity.

On the basis of a theoretical and normative analysis, the methodological and causal-experimental development was supported, through which the criteria to design the study modules were obtained, as well as the necessary characteristics to be considered for their development.

This research consisted of three work phases, which are described below: **study research, experimental characterization and interpretation of the results.**

The passive strategy chosen for this experiment consisted in the use of the instantaneous effect **solar chimney** made of galvanized sheet in matte black color and coil of polyvinyl chloride (PVC) **subway tubes**, which have convection and conductivity characteristics. The necessary conditions were created by means of the study modules, which were designed based on the analyzed regulations and allowing a ventilation flow through them.

The data recorded during the monitoring in the study modules, one of them as a witness and the other with the application of mixed ventilation strategy (experimental module) within configurations 4 and 5 indicate as **satisfactory** the hypothesis that states: "A mixed ventilation system, consisting of a subway tube coil and a solar chimney, will allow in a warm sub-humid climate, to enter through the subway tubes air inside the living space; so it is inferred that indoor temperatures below the outside temperature will be achieved". The outstanding result is that the module equipped with the mixed ventilation system, in configuration 4, presented a lower average temperature than the one that occurred in the

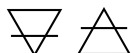


control module and with the average data of the micro station, the temperature difference was 1.7°C below that of the experimental module.

Meanwhile, as an outstanding result, the module equipped with the mixed ventilation system, in configuration 5, presented an average temperature lower than that of the control module and with the average data from the micro station, the temperature difference was 1.1°C lower than that of the experimental module.

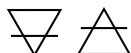
Key words

Passive system, temperature, relative humidity, wind, cooling.

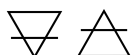


ÍNDICE

CAPÍTULO I	1
Introducción	1
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Justificación	3
1.3 Pregunta de investigación	6
1.4 Hipótesis	6
1.5 Objetivo general	6
1.6 Resumen metodológico	7
1.7 Alcances y limitaciones	9
CAPÍTULO II	11
2.1 MARCO TEÓRICO	11
2.1.1 Diseño Bioclimático	11
2.2 Parámetros Climáticos	13
2.2.1 El clima	13
2.2.2 Temperatura	14
2.2.3 Calor	14
2.3 Mecanismos de Transferencia de Calor	15
2.3.1 Leyes de la termodinámica	15
2.3.3 Parámetros termofísicos	16
2.3.4 Flujos de calor	17
2.3.5 Cargas térmicas solares	18
2.3.6 Cargas térmicas por conducción	19
2.3.7 Almacenamiento de calor y la capacidad térmica	19
2.3.8 Sistema de enfriamiento pasivo	19
2.4 Fundamentos teóricos	21
2.4.1 Ventilación	22
2.5 Principio Físico	23
2.5.1 Chimenea solar	23
2.5.2 Tubo subterráneo	25
2.5.3 Escala de Beaufort	28
2.5.4 El aprovechamiento del suelo en la inercia térmica	29
2.5.5 Propiedades geotérmicas del suelo	31
2.6 Medio Físico Natural	33



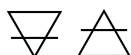
2.6.1	Climatología.....	34
2.7	Estado del arte.....	36
	Equipo de medición.....	42
2.8	Normatividad.....	43
CAPÍTULO III.....		45
	Metodología.....	45
3.1	Enfoque y tipo de estudio.....	47
3.2	Variables.....	48
3.3	Universo de Estudio.....	49
3.3.1	Del sitio: área de estudio.....	49
3.3.2	Del sitio: área de influencia.....	50
3.3.3	Temperatura.....	51
3.3.4	Flujo de viento.....	54
3.5	Del sitio: área específica.....	55
3.5.1	Localización.....	55
3.5.2	Selección de sitio.....	55
3.5.3	Condiciones geológicas y tipo de suelo en el Estado de Colima.....	56
3.5.4	Diagrama Bioclimático.....	59
3.5.5	Carta psicométrica.....	61
3.6	Propuesta de módulos de estudio.....	63
3.6.1	Módulos de estudio.....	64
3.6.2	Selección de materiales.....	68
3.6.4	Orientación.....	68
3.6.5	Excavación manual.....	68
3.6.6	Serpentín de tubos subterráneos.....	69
3.6.7	Módulos de estudio: estructura y acabados.....	70
3.7	Experimentación.....	72
3.7.1	Periodo de estudio.....	73
3.7.2	Instrumentos de medición.....	73
3.8	Calibración de instrumentos.....	76
3.8.1	Calibración de módulos.....	77
3.8.2	Instalación de instrumentos.....	78
3.8.3	Configuración de Experimentación.....	81
3.8.4	Control.....	83
CAPÍTULO IV.....		85
4.1	Resultados obtenidos y análisis.....	85
4.2	Discusión de resultados.....	86



.....	92
.....	92
4.3 Configuración 1	93
4.4 Configuración 2	97
4.5 Configuración 3	102
4.6 Configuración 4	106
4.7 Configuración 5	112
CAPÍTULO V	118
Conclusiones	118
5.1 Recomendaciones	121
5.2 Nuevas preguntas de investigación	121
CAPÍTULO VI	122
Referencias Bibliográficas	122
Anexos	128
1 Registro de temperatura y humedad de todo el periodo experimental	128
6 Calibración de instrumentos	133

ÍNDICE DE IMÁGEN

Imagen 1.-Ventilación pasiva, estrategia bioclimática, fuente:Elaboración propia.	2
Imagen 3.- Transferencia de calor en los edificios, fuente: (Blender, M., 2015).	2
Imagen 2.- Clima Municipio de Colima, fuente: INEGI (2020).	2
Imagen 4.- Área de referencia. Estados Unidos Mexicanos. fuente: elaboración propia a partir de http://gaia.inegi.org.mx/ (2021).	49
Imagen 5.- Área de influencia, División política del Estado de Colima, fuente: elaboración propia a partir de http://gaia.inegi.org.mx/ (2021).	50
Imagen 6.- Área de influencia. Clasificación Climática de Villa de Álvarez, Colima, fuente: elaboración propia a partir de http://gaia.inegi.org.mx/ (2021).	51
Imagen 7.- Tipo de suelo phaeozem, In situ. fuente: fotografía propia.....	57
Imagen 8.- Calibración de HOBOS data logger U12-02. fuente elaboración propia.	76
Imagen 11.- Vista de ubicación e instalación de HOBO U12-012 en área experimental. fuente: elaboración propia.	79
Imagen 12.- Vista de uso del anemómetro digital manual al exterior del área experimental. fuente: elaboración propia.	80
Imagen 13.- Configuración 1, vista frontal, fuente: elaboración propia.....	93
Imagen 14.- Vista del exterior a detalle del tubo subterráneo abierto, configuración 2, fuente: elaboración propia.	98
Imagen 15.- Configuración 3, vista frontal, fuente: elaboración propia.....	102
Imagen 16.- Vista del exterior a detalle del tubo subterráneo y chimenea solar abiertos, configuración 4, fuente: elaboración propia.	106
Imagen 17.- Configuración 5, vista frontal, fuente: elaboración propia.....	112



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Esquema de una edificación sin y con sistemas de climatización, fuente: elaboración propia.	5
Ilustración 2.- Acción de la radiación sobre un elemento constructivo caso general. fuente: elaboración propia basado en Tudela, 2022.	18
Ilustración 3.- Elementos que conforman la chimenea solar, fuente: elaboración propia, a partir de David Morillón, 2022.....	21
Ilustración 4.- Esquema de ventilación cruzada, fuente: elaboración propia.	22
Ilustración 5.- Esquema del funcionamiento de la chimenea solar, fuente: elaboración propia.	24
Ilustración 6.- Esquema del funcionamiento de los tubos subterráneos, fuente: elaboración propia.	27
Ilustración 7.- Temperatura del suelo en función de la profundidad, fuente: elaboración propia a partir de Girodgeterma, (2022).	30
Ilustración 8.- Diagrama estereográfico para Villa de Álvarez, Colima, México incluyendo las temperaturas medias durante el recorrido solar. fuente: elaboración propia a partir de los datos de CONAGUA.	52
Ilustración 9.- Temperaturas promedio, Colima, Colima (DGE). fuente: elaboración propia a partir de normales climatológicas periodo 1981-2010, CONAGUA.	53
Ilustración 10.- Rosa de los vientos para la ciudad de Villa de Álvarez, Colima. Fuente: Gobierno del Estado de Colima, programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Colima (2021).	54
Ilustración 11.- Localización del sitio dentro del Instituto Tecnológico Nacional de México campus Colima. fuente: elaboración propia a partir de http://gaia.inegi.org.mx/ visitada 16 de agosto de (2021).	55
Ilustración 12.- Área de influencia tipo de suelos de Villa de Álvarez, Colima. fuente: elaboración propia a partir de http://gaia.inegi.org.mx/ visitada 16 de agosto de (2021). ...	56
Ilustración 13.- Carta bioclimática de Olgyay aplicada a la localidad de Villa de Álvarez, Colima, fuente: elaboración propia.	60
Ilustración 14.- Datos climáticos de Villa Álvarez, Colima, Implementación en el ábaco psicométrico de Baruch Givoni. fuente: elaboración propia.	62
Ilustración 15.- Mínimo dimensiones de superficie para una habitación, fuente: Ayuntamiento de Villa de Álvarez, (2021).	63
Ilustración 16.- Planta arquitectónica, módulos de estudio. fuente: elaboración propia	64
Ilustración 17.- Alzado principal, módulos de estudio. fuente: elaboración propia.	65
Ilustración 18.- Vista posterior, módulos de estudio. fuente: elaboración propia.	65
Ilustración 19.- Sección de módulos de estudio. fuente: elaboración propia.	65
Ilustración 20.- Vista lateral, módulos de estudio. fuente: elaboración propia.	66
Ilustración 21.- Propuesta 3D en planta para los módulos de estudio. fuente: elaboración propia.	67
Ilustración 22.- Propuesta 3D en alzado/sección para los módulos de estudio. fuente: elaboración propia.	67
Ilustración 23.- HOBO Data Logger modelo U12-012. fuente: www.onsetcomp.com visitada el 16 de agosto (2021).	74

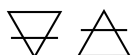


Ilustración 24.- Anemómetro unidireccional digital manual fuente: https://manuals.plus/es/anemómetro/anemómetro-digital-manual , visitada el 16 de agosto (2021).	75
Ilustración 25.- Ejemplo de información obtenida por cada sensor, Fuente: elaboración propia.	85
Ilustración 26.- Ejemplo de información por hora. Fuente: elaboración propia.....	86
Ilustración 27.- Ejemplo de gráficas. Fuente: elaboración propia.	87
Ilustración 28.- Ejemplo de gráfica por etapa de módulo testigo, experimental y microestación. Fuente: elaboración propia.	88
Ilustración 29.- Ejemplo de comparativo gráfico lineal de temperatura. Fuente: elaboración propia.	89
Ilustración 30.- Ejemplo de comparativo gráfico lineal de humedad relativa. Fuente: elaboración propia.	89
Ilustración 31.- Ejemplo línea de tendencia. Fuente: elaboración propia.	90
Ilustración 32.- Ejemplo de día representativo, Fuente: elaboración propia.	91
Ilustración 33.- Ejemplo de prueba t para muestras relacionadas. Fuente: (GOOGLE, 2022)	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Escala de Beaufort, fuente: elaboración propia a partir de parámetros utilizados por la Comisión Nacional del Agua, 2022.	28
Tabla 2.- Propiedades térmicas de los suelos para el dimensionado y diseño del sistema subterráneo mejorando la eficiencia energética de sistemas geotérmicos en climatización geotérmicos en climatización. fuente: elaboración propia.	32
Tabla 3.-Lista cronológica de artículos referentes a investigaciones de chimenea solar situadas en climas cálidos húmedos, fuente: elaboración propia.	38
Tabla 4.- Lista cronológica de artículos referentes a investigaciones de chimenea solar situadas en climas cálidos húmedos, fuente: elaboración propia.	39
Tabla 5.- Lista cronológica de artículos referentes a investigaciones de climatización de tubos canadienses, fuente: elaboración propia.	40
Tabla 6.- Lista cronológica de artículos referentes a investigaciones de climatización de tubos canadienses, fuente: elaboración propia.	42
Tabla 7.- Clasificación de variables, fuente: elaboración propia.	48
Tabla 8.- Propiedades térmicas de los suelos para el dimensionado y diseño del sistema subterráneo mejorando la eficiencia energética de sistemas geotérmicos en climatización geotérmicos en climatización. fuente: elaboración propia.	69
Tabla 9.- Elaboración propia a partir de especificaciones técnicas de fabricante y cortes. fuente: elaboración propia a partir de Durock, (2021).	71
Tabla 10.- Valores de conductividad y aislamiento térmico, fuente: elaboración propia a partir de NOM-020-ENER-2011.	71
Tabla 11.- Características de instrumentos de medición, fuente: elaboración propia.	74
Tabla 12.- Temperaturas promedio, Colima, Colima (GDE). fuente: elaboración propia a partir de normales climatológicas periodo 1981-2010 (CONAGUA).....	81
Tabla 13.- Valores de b y m para la construcción de modelos térmicos. fuente: elaboración propia.	83

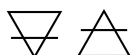


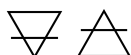
Tabla 14.- Rango de confort térmico en clima cálido subhúmedo. A partir de Nicol (1993). fuente: elaboración propia.	84
Tabla 15.- Comparación del nivel de aceptación t student entre las mediciones de temperatura configuración 1, fuente: elaboración propia.	96
Tabla 16.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones de humedad relativa configuración 1, fuente: elaboración propia.	96

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas, configuración 1 del 2 al 6 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	94
Gráfica 2.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 1 del 2 al 6 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	95
Gráfica 3.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 2 del 10 al 14 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	98
Gráfica 4.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 2 del 10 al 14 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	99
Gráfica 5.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 3 del 15 al 19 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	103
Gráfica 6.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 3 del 15 al 19 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	104
Gráfica 7.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 4 del 20 al 24 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	107
Gráfica 8.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 4 del 20 al 24 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	108
Gráfica 9.- Día representativo, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 4 del día 20 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	109
Gráfica 10.- Día representativo, humedad relativa internas, configuración 4 del día 20 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	110
Gráfica 11.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 5 del 25 al 29 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	113
Gráfica 12.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 5 del 25 al 29 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	114
Gráfica 13.- Día representativo, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 5 del día 26 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	115
Gráfica 14.- Día representativo, humedad relativa internas, configuración 5 del día 26 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.	116

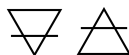
ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Diagrama de resumen metodológico, fuente: elaboración propia.	8
Figura 2.- Clasificación de fases metodológicas, fuente: elaboración propia.	45
Figura 3.- Diagrama de proceso metodológico, fuente: elaboración propia.	46
Figura 4.- Proceso de investigación, fuente: elaboración propia.	47



El control del entorno y la creación de condiciones adecuadas a sus necesidades y al desarrollo de sus actividades son cuestiones que el hombre se ha planteado desde sus orígenes, a lo largo del tiempo, los hombres han buscado en la construcción de sus refugios, satisfacer las necesidades humanas básicas: la protección ante los elementos y la provisión de un espacio dotado de una atmósfera favorable para el recogimiento espiritual.¹

¹ Viktor Olgyay (1963)



Introducción

La ventilación natural vuelve a tomar importancia, sobre todo la ventilación pasiva hoy en día se ha convertido en una solución atractiva para reducir el uso de energía y el costo de este (Imagen 1), así proporcionando una buena circulación del aire en el ambiente interior del espacio habitacional que asegura un clima confortable, saludable y productivo, se produce un estado de bienestar. Las condiciones como la ciudad de Colima (Imagen 2), el viento se mueve a velocidades bajas (Marino & Thomas, 2007), manteniéndose en dos direcciones predominantes, Noreste y Sureste (García, 1995). Existen en el mundo diversos tipos de diseño de climatización pasiva, ejemplos de estructuras tipo torres, como generadores de ventilación inducida, realizadas aprovechando la latitud de su posición, altura del edificio, el colector solar o el tipo de materiales a utilizar en cada construcción de la región, son un mal diseño ciudadano en la construcción por lo que es necesario implementar un método que debe proporcionar la ventilación natural y/o inducida cruzada en primavera y verano principalmente, teniendo presente que existen tres formas de transferencia de calor en la edificación: la conducción, la radiación y la convección. (Imagen 3)

El clima y la orientación definen un papel primordial en las diferentes maneras que generan la forma de la arquitectura de la región, la tipología constructiva, aunque existan variaciones en diseño y de productos de particularidades de cada cultura o disponibilidad de materiales de la región, los diferentes modos de generar el intercambio de aire son: la ventilación mecánica, que permite controlar en todo momento el flujo de aire, su calidad y temperatura.

La ventilación natural inducida tienen un menor o nulo mantenimiento, produce menor ruido y no utilizar energía eléctrica para generar el ingreso para circular el aire de acuerdo con su orientación y ubicación, al no tener una circulación de aire adecuado dentro de las viviendas o espacios habitacionales, hacen que no se tenga una buena ventilación o

confort dentro de las mismas; se entiende cómo confort térmico a la sensación que expresa la satisfacción de los usuarios con el medio ambiente (Chávez Del Valle, F. J. 2002) por lo tanto es subjetivo y depende de diversos factores, por mencionar algunos, temperatura de aire, humedad relativa, temperatura media, factores ambientales y personales, incluso hasta la vestimenta, un rango que define una zona de confort entre los 22°C y los 27°C (Norma ISO 7730) aproximadamente y en especial en un clima cálido subhúmedo como lo es en la ciudad de Colima, teniendo presente que la temperatura máxima anual promedio es de 33.1°C (Comisión Nacional del Agua, 2021) y es por ello que tratamos de solucionar con energías mecánicas o activas controladas como lo es el aire acondicionado por mencionar alguno, para poder regular las altas temperaturas y alcanzar una zona de confort al interior del espacio habitable.

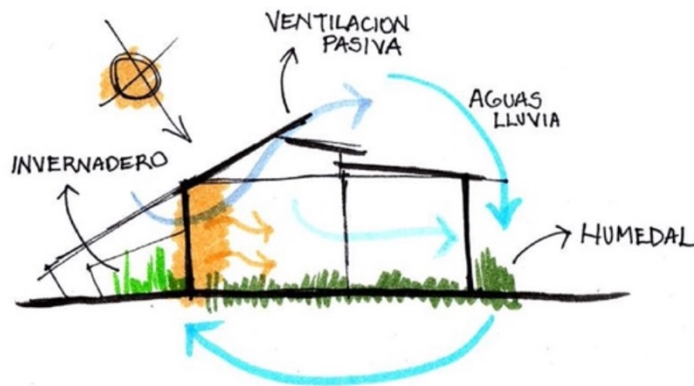


Imagen 1.- Ventilación pasiva, estrategia bioclimática, fuente: Elaboración propia.

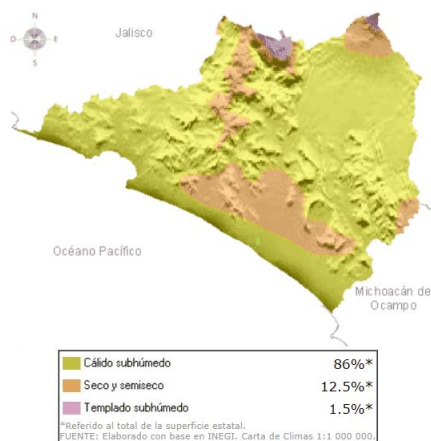


Imagen 3.- Clima Municipio de Colima, fuente: (INEGI, 2020).

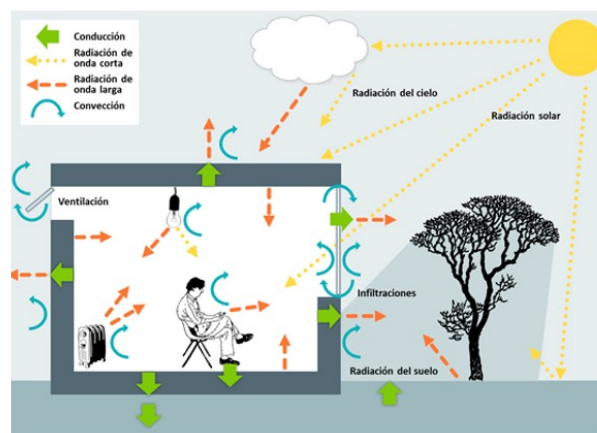


Imagen 2.- Transferencia de calor en los edificios, fuente: (Blender, M., 2015).

1.1 Planteamiento del problema

Los diseñadores y constructores se encuentran cada día más con la problemática de sacrificar las necesidades propias del hábitat del ser humano, debido al incremento de los costos del suelo y la construcción, a la par de la demanda de vivienda. Esta situación conlleva a la construcción de espacios con carencia de diseño, y por tanto, el discomfort del habitante, lo cual propicia el uso de tecnologías de alto valor entrópico para favorecer las condiciones climáticas en el interior de la edificación, sobre todo en climas como el del presente estudio, cálido subhúmedo. El uso de estos mecanismos genera un alto consumo energético, siendo este uno de los factores que contribuyen al calentamiento global.

Sin lugar a dudas, un buen diseño se logra cuando se reduce el uso de estos sistemas de enfriamiento, sin embargo, en condiciones como las de la ciudad de Colima, no se logra en su totalidad. Por lo cual, se requiere la aplicación de sistemas o dispositivos de enfriamiento o control pasivo que contribuyan o propicien condiciones de bienestar al interior de la envolvente arquitectónica, por consiguiente, evitar en la medida de lo posible, el uso de equipos de acondicionamiento climático y a su vez disminuir la demanda energética.

1.2 Justificación

Un número significativo de las viviendas ubicadas en climas cálido subhúmedos presentan problemas de incomodidad por la falta de ventilación, las condiciones como la ciudad de Colima, el viento se mueve a velocidades bajas, manteniéndose en dos direcciones predominantes, Noreste y Sureste (García, 1995) esto debido a los altos índices de temperatura y humedad la mayor parte del año. Por lo general, la mitigación de este problema se resuelve mediante la utilización de equipos convencionales de climatización, lo que repercute en el gasto energético y en la economía de sus ocupantes.

Hoy en día se están presentando grandes efectos negativos hacia nuestro planeta, debido a la sobreexplotación de los recursos energéticos, a causa de la falta de concientización en las personas sobre su uso racional, y pone en riesgo el bienestar de las próximas generaciones que habitarán el planeta.

Como individuo y profesional relacionado con la sustentabilidad, es obligatorio pensar en alternativas que puedan beneficiar al planeta y a la vez pueda satisfacer las necesidades de un bienestar térmico en los espacios, es momento de voltear a ver los recursos naturales que se tienen y pensar en alternativas y el uso correcto de las distintas estrategias de acondicionamiento climático.

Para empezar a mitigar el cambio climático se debe de dar uso correcto a los distintos materiales para la construcción que hoy en día se tienen, aplicándolos a las diferentes necesidades, y orientación, gracias a este factor se puede aprovechar el clima de la región, basado en un análisis de los 3 principios fundamentales para pensar en los recursos ilimitados del planeta, el aprovechamiento pasivo e inducido, la ventilación cruzada y el asoleamiento.

El uso de una chimenea solar y tubos subterráneos producen el beneficio de ventilación natural y estrategia pasiva de refrigeración de los espacios habitacionales, también ayuda a reducir el consumo de energía, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) aumenta la renovación de aire por hora y la contaminación en general, permite que la ventilación de los espacios estrechos y/o pequeños con una exposición mínima a la intemperie, los beneficios potenciales en cuanto a refrigeración pasiva pueden incluir en la noche un mejoramiento en el porcentaje de enfriamiento, en general mejora el confort térmico con un mejor control de flujo de aire y corrientes de aire reducida. (Hollmuller & Bernard, 1999).

El funcionamiento básico de una chimenea solar en la que su principal fuente de energía proviene del sol, y por una diferencia de temperatura en el aire, entre la parte superior que tiene mayor temperatura (punto de extracción) y la parte baja con menor temperatura (punto de suministro), durante este proceso el viento adquiere velocidad y pierde

temperatura, llegando más fresco al interior y por medio de la ventilación cruzada, que se puede generar con el apoyo de un vano, y sumando el funcionamiento del tubo subterráneo en donde permite aprovechar la temperatura del subsuelo para climatizar el interior de una edificación, estos produciendo un cambio en la densidad del aire e induciendo su movimiento que enfría paulatinamente el espacio habitacional.

La simulación del flujo de aire en sistemas de ventilación mixta, compuestos por intercambiador de calor, como lo son; tubos subterráneos y chimenea solar, está lejos de ser completamente desarrollados, ya que los modelos existentes no son suficientes para evaluar su rendimiento (Zhang y Haghghat, 2005). A la fecha no hay datos que validen el uso de estos sistemas a las condiciones atmosféricas de la ciudad de Villa de Álvarez, Colima.

Ya que casi todos los espacios habitacionales actuales no consideran elementos bioclimáticos para su desempeño eficiente, es por ello el apostar con el uso correcto y adecuado de la ventilación cruzada, es un punto favorable para el medio ambiente, y así tener un mayor bienestar dentro de nuestro espacio habitable.

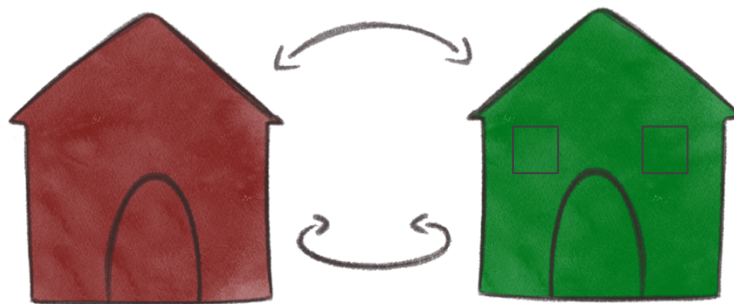


Ilustración 1.- Esquema de una edificación sin y con sistemas de climatización, fuente: elaboración propia.

1.3 Pregunta de investigación

¿Cuál es el potencial de enfriamiento de un sistema de ventilación mixta aplicado en un espacio interior en un clima cálido subhúmedo?

1.4 Hipótesis

Un sistema de ventilación mixta, compuesto por un serpentín de tubo subterráneo y una chimenea solar, permitirá en un clima cálido subhúmedo, ingresar por medio de los tubos subterráneos aire al interior del espacio habitable; por lo que se infiere que se lograrán temperaturas interiores por debajo de la temperatura exterior.

1.5 Objetivo general

Evaluar el desempeño de un sistema pasivo de ventilación con estrategia mixta chimenea solar y tubo subterráneo, bajo las condiciones meteorológicas en un clima cálido subhúmedo, como lo es en la ciudad de Villa de Álvarez, Colima.

1.5.1 Esta investigación pretende como **Objetivos específicos**

1. Diseñar y proponer los sistemas de chimenea solar y tubos subterráneos a partir de la literatura revisada.
2. Construcción de los módulos de estudio.
3. Realizar la investigación experimental a partir de un módulo testigo y un módulo experimental con sistema mixto de ventilación es decir chimenea solar y tubos subterráneos.

4. Monitorear a través de instrumentos de medición (**Data Logger HOBO**) la temperatura y humedad relativa, así como también un anemómetro para verificar la velocidad del aire.
5. Comparar el desempeño del sistema mixto de ventilación, respecto de un espacio con sistema de ventilación convencional.

1.6 Resumen metodológico

El enfoque de estudio es una comparación **cuantitativa** del desempeño de los dispositivos (módulos de estudio), ya que no se utilizaron variables cualitativas ni se da pie a la subjetividad de los resultados por parte del investigador.

Para el desarrollo de este trabajo se dividió en tres fases principales las cuales son: investigación del estudio, características del experimento e interpretación de datos.

La experimentación se enfoca en el análisis de la utilización de un prototipo de desempeño de un sistema de estrategia mixta de ventilación pasiva, analizando su desempeño al interior de los módulos de estudio en sus distintas configuraciones, mostrando su temperatura reducida, y el porcentaje de humedad cumpliendo con el objetivo de la pregunta de investigación.

Fase 1: Investigaciones relevantes hacia la investigación, la cual permitió tener fundamentos teóricos para sustentar este trabajo.

Fase 2: El desarrollo experimental el cual se tuvo que fabricar 2 módulos de estudio de placas de fibrocemento “CEMPANEL”, dichos módulos fueron clasificados para el desarrollo experimental y la obtención de datos de la siguiente forma:

Módulo de estudio 1: Módulo testigo.

Módulo de estudio 2: Módulo experimental, configurado con dos sistemas pasivos: chimenea solar y tubos subterráneos.

La obtención de equipos de medición los cuales nos permitirán hacer las mediciones de temperatura, humedad relativa y viento.

Fase 3: Interpretación de datos obtenidos durante el proceso experimental.



Figura 1.- Diagrama de resumen metodológico, fuente: elaboración propia.

1.7 Alcances y limitaciones

Como en todo plan de trabajo de investigación **cuantitativo** se toman en cuenta estas circunstancias.

Alcances:

- Δ **Análisis:** Comparativa de resultados obtenidos durante el proceso experimental.
- Δ **Módulos de estudio:** Diseño y construcción con material prefabricado.
- Δ **Evaluación:** Comprobar el y los comportamientos de un sistema de implementación de estrategia mixta de ventilación.
- Δ **Producto:** Conclusión de tesis.

Limitaciones:

- Δ **Área de estudio:** El espacio de este desarrollo experimental era necesario contar con una construcción con ciertas características para monitorear variables específicas, los cuales no fueron posibles tener acceso a estas construcciones o espacios con estas características para su evaluación, por lo cual se optó por unos módulos experimentales a tamaño escala en los cuales fue posible desarrollar estas variables para su evolución dentro de las instalaciones del Tecnológico de Colima.
- Δ **Condiciones climáticas:** Se pretendió realizar el monitoreo en la temporada de primavera, presentan lluvias, este obliga que los resultados puedan alterarse ya que los instrumentos de medición no son contra el agua y estos dejen de funcionar en el proceso de experimentación.

- Δ **Equipos e instrumentos:** Los equipos **HOBO'S U12-012**, estos para poder medir la temperatura y humedad relativa, registros de datos hasta 43,000, así como el anemómetro digital manual **SEMME PEAKMETER PM6252B**, la velocidad del aire, este no contiene tarjeta de memoria. Instrumentos proporcionados por la Universidad Autónoma de Chiapas (**UNACH**) durante el periodo experimental.
- Δ **Excavación:** Dentro de las instalaciones en el Instituto Tecnológico Nacional de México campus Colima, siendo este un área protegida por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (**INAH**) por su cercanía a la zona “La Campana” ya que este es un yacimiento arqueológico considerado en la lista del patrimonio arqueológico mexicano, la profundidad de la excavación para la implementación del sistema enterrado (tubo subterráneo) se limitó hasta 1.50m de profundidad con la supervisión del INAH.
- Δ **Módulos de estudio:** Diseño, costo y fabricación, ambos módulos de estudio se realizaron con materiales prefabricados como el panel fibrocemento (Cempanel), láminas de poliestireno (Unicel), por su fácil acceso, rapidez y uso en sus maniobras, estos módulos de estudio están adecuados a dicha experimentación, realizadas por el alumno.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Diseño Bioclimático

Para el presente estudio resulta pertinente definir el diseño bioclimático. (Gómez Azpeitia, 1990) define el concepto en donde hace mención de la energía pasiva como fuente primaria a involucrar y lo concreta de la siguiente manera: “es un conjunto de elementos arquitectónicos, constructivos y mecánicos, capaces de transformar las condiciones del hábitat, para lograr valores que lo acerquen a las condiciones de bienestar termofisiológico del ser humano, utilizando preferentemente energías pasivas”.

Victor Olgyay (1963) en su carta bioclimática define las estrategias del confort termofisiológico:

- Δ Enfriamiento.
- Δ Calentamiento.
- Δ Humidificar.
- Δ Deshumidificar.

El entorno de nuestro interés de estudio es el de clima cálido subhúmedo. Por consiguiente, la estrategia de climatización, y con base a la carta bioclimática de Víctor Olgyay sugiere enfriar y deshumidificar. Sin embargo, como ya se ha mencionado, lo que se busca es observar el comportamiento de un sistema mixto de ventilación pasiva y evaluar su comportamiento hacia el interior de los espacios.

Es necesario hacer un cuestionamiento previo del tema de investigación y es: ¿por qué el uso de sistemas pasivos de enfriamiento?

Se ha registrado un acelerado incremento en el uso de dispositivos mecánicos eléctricos de enfriamiento. Esto como resultado de muchos procesos, en particular Yannas (2006) menciona los siguientes:

- Δ La adopción de un estilo universal en la manera de crear nuestras edificaciones, ya que no se consideran las cuestiones climáticas y esto conlleva al incremento de demanda de energía para su aclimatación, según sea el caso.
- Δ El incremento de la temperatura ambiente, particularmente en el ambiente urbano, debido al fenómeno de la “isla de calor”, el cual acentúa la demanda de enfriamiento en las edificaciones.
- Δ Cambios en la cultura de confort.
- Δ La mejora del nivel de vida y el aumento de la riqueza en los consumidores.

Este incremento en el consumo energético de las edificaciones impacta de manera sustancial en la producción de mayor cantidad de combustibles fósiles para satisfacer una “necesidad” impuesta en base a un mínimo de razonamiento ambiental; de manera que el hombre se ha vuelto cada vez más dependiente de estos medios artificiales basado un alto costo energético, que a su vez contribuye al calentamiento global, ya evidente en nuestros días (Santamouris M., 2006).

Ya desde los años ochenta del siglo pasado, diversos autores como Tudela (1982), Szokolay (1983) hacían mención que el problema energético se debía a las prácticas constructivas mal empleadas, que a la fecha continúan. Entonces debemos pensar en métodos o estrategias que busquen el aprovechamiento de los factores climáticos que inciden en la edificación para lograr condiciones térmicas internas que propicien bienestar en el usuario.

Givoni (1969) y Guyot (1983) hacen referencia a que el propósito de la envolvente de un edificio es generar las condiciones donde se provea un ambiente interior comprendido dentro de la zona de bienestar térmico. Es de importancia mencionar que el diseño bioclimático debe trabajar en conjunto con otras áreas o ciencias para el planteamiento de soluciones de manera integral y eficientes para su más conveniente aprovechamiento.

2.2 Parámetros Climáticos

2.2.1 El clima

La atmósfera es una envoltura gaseosa que rodea tanto la parte sólida, como la parte líquida de la tierra, forma parte integral del planeta y en esta parte habita la mayor parte de seres vivos (biosfera). Dentro de los factores físicos que conforman el medio ambiente se encuentran la vegetación natural, las formas de relieve, el suelo y el clima. Este último es el más importante pues actúa sobre todos los demás.

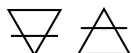
El estado de la atmósfera en cualquier momento y lugar se expresa por una combinación de sus propiedades físicas. Estas propiedades son conocidas como los elementos del tiempo en la atmósfera y del clima:

- Δ Temperatura.
- Δ Humedad.
- Δ Precipitación pluvial.
- Δ Dirección y fuerza del viento.
- Δ Presión atmosférica.

Existen factores climáticos que hacen variar el clima de lugar en lugar y de una estación a otra y estos son:

- Δ Latitud.
- Δ Altitud.
- Δ Relieve.
- Δ Distribución de tierras y aguas.
- Δ Corrientes marinas.

El clima se puede definir como el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar determinado. En tanto que el tiempo climático es la suma de las propiedades físicas de la atmósfera en un período cronológico corto.



2.2.2 Temperatura

La temperatura es una medida del grado de intensidad de calor. La temperatura de un cuerpo es una expresión de su excitación molecular. La diferencia de temperatura entre dos puntos o cuerpos indica el potencial de calor para pasar del más caliente al más frío. En las unidades del Sistema Internacional (SI) se utiliza la escala de grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) para su cuantificación.

La temperatura de bulbo seco de un gas o de una mezcla de gases es la temperatura tomada con una bombilla, que está blindada del intercambio radiante. Los sensores más familiarizados son los que registran la temperatura de bulbo seco del aire.

Δ Temperatura de bulbo seco o temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$) TBS (DBT).

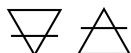
Prescinde de la radiación calorífica de los objetos que rodean el ambiente, y de los efectos de la humedad relativa, y de la velocidad del aire. Se puede obtener con el termómetro de mercurio.

Δ Temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$) TG (GT).

Es una combinación de la temperatura radiante y la de bulbo húmedo.

2.2.3 Calor

El calor es una transformación de la energía, transportándola de un lado a otro. La condición esencial para la transmisión de calor es que los cuerpos tengan temperaturas diferentes. Así pues, el flujo de calor se dirige del más caliente al más frío (Torchia Núñez & Cervantes de Gortari, 2010).



2.3 Mecanismos de Transferencia de Calor

2.3.1 Leyes de la termodinámica

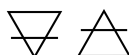
A continuación, la física como ciencia principal en nuestro objeto de estudio y la termodinámica como parte de este, para lograr comprender el intercambio de calor tierra - aire, que el aire entre y que pasa a través de tubos subterráneos y con ayuda del subsuelo, establecen las formas de transmisión de calor (Posada, 2008).

2.3.2 Principios físicos:

Primera Ley: Conocida como el principio de conservación de energía. Propuesta por el químico francés Antoine-Laurent de Lavoisier, fundamenta que, si se realiza trabajo sobre un sistema, o si bien éste intercambia calor con otro, es decir, la energía interna del sistema cambiará. Dicho de otra forma, esta ley señala que la aplicación es el balance de energía para un sistema; como se mencionó antes, el calor es el tipo de energía que interviene en este balance. Es decir, el calor es la energía que entra o sale de un sistema debido a las diferencias de temperatura entre la pared del sistema y del ambiente (Torchia Núñez & Cervantes de Gortari, 2010).

Segunda Ley: Esta ley impone la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos, por lo tanto, las restricciones para las transferencias de energía que hipotéticamente pudieran llevarse a cabo, teniendo sólo en cuenta el Primer Principio. La transferencia de energía puede darse por diferentes procesos físicos como: **conducción, convección y radiación** (Posada, 2008).

- Δ **Conducción:** El calor se transmite de un cuerpo a otro mediante el contacto directo entre sus moléculas que tienden a alcanzar un equilibrio térmico. (Malchaire, 2012).



Δ **Convección:** El calor se transmite de un cuerpo a otro mediante el contacto con un fluido que sirve de mediador para alcanzar un equilibrio termodinámico. (Malchaire, 2012).

Δ **Radiación:** El calor se transmite de un cuerpo a otro en el vacío, sin necesidad de mediar contacto directo o indirecto entre ellos, hasta alcanzar un equilibrio termodinámico. (Malchaire, 2012).

La transferencia de calor dentro de un objeto, como lo es el suelo, está definida por dos propiedades: la conductividad térmica y la capacidad calorífica, que son la base fundamental para el funcionamiento de los tubos subterráneos y la chimenea solar. Es importante hacer mención que en muchas de las situaciones que se presentan estos mecanismos en la naturaleza, el calor fluye no por uno, sino por varios de ellos actuando además en forma simultánea.

2.3.3 Parámetros termofísicos

Los parámetros termofísicos son aquellas propiedades o componentes que poseen los materiales y que determinan su comportamiento en el ambiente.

Δ Conductividad - resistividad

Es la propiedad que tiene la materia para permitir o resistir el paso del calor. (**w/m °c**).

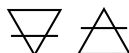
Δ Conductancia – resistencia

Es el producto de la conductividad o resistividad por una longitud, usualmente el espesor. (**w/m² °c**).

Δ Calor específico o capacidad calorífica

Es la cantidad de calor que aparenta contener un material por unidad de masa o volumen. (**w/m³ o kg**).

Δ Emisividad o efusividad



Es la propiedad de admitir el tránsito del calor por una superficie.

Δ Difusividad

Es la propiedad que permite la difusión volumétrica del calor en un material.

Δ Absortividad

Es la propiedad que tienen las superficies para absorber energía radiante.

Δ Reflectividad

Es la propiedad que tienen las superficies para reflejar la energía radiante.

Δ Emisividad

Es la propiedad que tienen las superficies para emitir energía radiante (infrarrojo).

2.3.4 Flujos de calor

Las condiciones de temperatura al interior de una edificación se deben esencialmente al resultado de los flujos de calor a través de la envoltura de la misma, tanto por las partes opacas como las transparentes y las aperturas dictaminan las varias y diversas maneras en que fluye el calor. Se nombran “cargas térmicas” de un edificio a los flujos de calor en el sentido perjudicial a la obtención de condiciones de confort térmico. Estos flujos de calor contribuyen al aumento de la temperatura y en su caso, al aumento de calor que un sistema de climatización mecánico tiene que remover del espacio interior de la edificación. Por el contrario, en el caso de la calefacción, las pérdidas de calor del espacio interno en una envolvente son las cargas térmicas, las cuales causan una reducción de la temperatura interna del edificio o aumentan la cantidad de calor que es necesario suministrar por el sistema de calefacción.

Las ganancias de calor es otro término relacionado con las cargas térmicas. En el caso de la necesidad de enfriamiento del edificio, el término tiene un significado prácticamente igual al término de cargas térmicas. Por el contrario, cuando se requiere calentar el espacio, las ganancias de calor reducen la cantidad de calor necesario a suministrar por el sistema de calefacción mecanizado (Heard & García López, 2010).

2.3.5 Cargas térmicas solares

Las cargas térmicas solares se dividen en dos: las que impactan sobre las superficies opacas y las que impactan a través de elementos transparentes (ventanas o domos) del edificio. Las que inciden sobre las superficies opacas son disminuidas y retrasadas por los efectos de capacidad y resistencia térmica y absorción de los materiales de construcción.

La radiación solar se puede considerar que se compone de radiación directa y radiación difusa. La radiación directa proviene directamente del sol y su ángulo de incidencia sobre una superficie se puede determinar con datos de orientación de ésta, su ubicación (latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar) la hora y fecha. La radiación difusa es la radiación que llega a la superficie por difracción y reflejo en la atmósfera y las superficies alrededor de la superficie. (Ilustración 2)

Cuando la radiación solar incide sobre un elemento constructivo, una parte de la misma es reflejada, otra es absorbida, produciéndose un calentamiento del elemento y, en el caso de las sustancias relativamente transparentes a la radiación, una última parte se transmite directamente (Tudela, 1982).

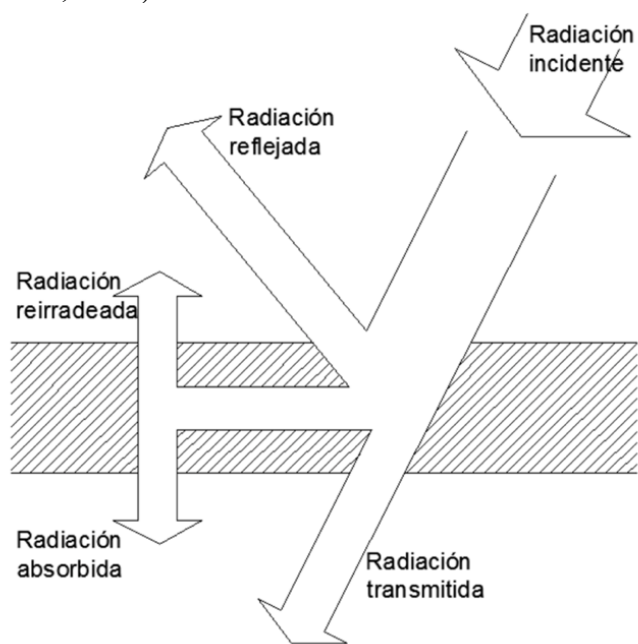


Ilustración 2.- Acción de la radiación sobre un elemento constructivo caso general. fuente: elaboración propia basado en Tudela, 2022.

2.3.6 Cargas térmicas por conducción

Las cargas térmicas por conducción son los flujos de calor que entran al espacio interior del edificio debido a la diferencia de temperatura entre el interior y exterior del mismo. Cuando el promedio de la temperatura interior es menor que el promedio de la temperatura del ambiente exterior, existirá un flujo neto de calor a través de la envoltura del edificio hacia el interior del mismo. Esto normalmente es el caso cuando se utiliza el aire acondicionado (Heard & García López, 2010).

2.3.7 Almacenamiento de calor y la capacidad térmica

El calor se almacena en la masa de las paredes, tabiques, suelos y techos de los edificios. Los elementos que componen la edificación actúan como un disipador de calor intermedio que ayuda a estabilizar las temperaturas internas en momentos de fluctuación (Simos Yannas, 2006). En la temporada de frío es de importancia que en todos los casos en que las fluctuaciones de temperatura diurna sean causadas por factores externos o actividad de los ocupantes podrían dar lugar a un sobrecalentamiento térmico y malestar. Se mide la capacidad de un elemento de construcción para almacenar el calor por su capacidad térmica. Este es el producto de la densidad de un elemento (en unidades de kg/m^3) por su volumen (en m^3) y calor específico (en J/kgK o Wh/kgK).

2.3.8 Sistema de enfriamiento pasivo

El uso de los sistemas pasivos como lo son la chimenea solar y el tubo subterráneo de enfriamiento se debió al aumento en el costo de la electricidad, sin embargo, al validar la teoría de que el mayor contribuyente al calentamiento global, son las emisiones de CO_2 a la atmósfera, el tema se inclinó principalmente al estricto sentido ambiental, sin dejar de lado el alto costo de producción y suministro de energías activas.

La conservación de la energía y el enfriamiento pasivo son las más eficientes y sobre todo menos costosas, estas alternativas para las fuentes convencionales de energía (Santamouris M., 2006). Se trata de retomar los principios básicos de la arquitectura como lo menciona (Olgyay V. 1963), el proceso lógico sería trabajar con las fuerzas de la naturaleza y no en contra de ellas, aprovechando sus potencialidades para crear unas condiciones de vida adecuadas, como lo son para esta experimentación, la chimenea solar y el tubo subterráneo. Todo esto con el fin de minimizar el uso de sistemas convencionales.

Steve Szokolay define la relación que existe entre los sistemas pasivos y activos mediante el siguiente esquema enfocado hacia el control térmico de la edificación:

$$\text{Condiciones ambientales} \neq \text{Condiciones de bienestar} = \text{Tareas de control}$$

Es decir, cuando las condiciones medioambientales y las necesidades del individuo son iguales nos encontramos en bienestar. Por lo contrario, cuando no están en igualdad de condiciones tenemos la tarea de adaptación o adecuación del hábitat a través de tareas de control.

El término pasivo lo implementaron los investigadores para describir sistemas de control que emplean fenómenos naturales para su funcionamiento y así lograr tener un porcentaje de ahorro energético, existen estudios que demuestran que la aplicación de estrategias pasivas disminuye considerablemente el consumo de energía de una vivienda construida (Aguilera, V, 2018).

Por lo contrario, el término activo se aplica para sistemas convencionales de calefacción o enfriamiento, según sea el caso, mediante componentes mecánicos para su control. Se trata entonces del empleo adecuado y eficiente de la energía, mediante un estudio y aplicación de alternativas de transformación energética. Steve Szokolay define tres principales rubros para el empleo de controles pasivos:

- Δ Económico: ahorro en el costo de la energía.
- Δ Estético: más simpatía con el medio ambiente.
- Δ Ético: toma menos del ambiente y vierte menos al ambiente.

2.4 Fundamentos teóricos

Existen obras donde se pueden encontrar diferentes conceptos teóricos de tipos de ventilación aplicados a una vivienda o edificación (Hazim, B. 2003)

Los sistemas pasivos tienden a ser clasificados de acuerdo a su función principal, las chimeneas solares se pueden utilizar como sistemas de enfriamiento al provocar la ventilación inducida, y generar mediante ésta, la remoción de las partículas de aire caliente en contorno del usuario (Morillón, 1993).

La chimenea solar es un sistema pasivo generador de movimiento de aire, y este ha sido objeto de diversos estudios sobre todo en lugares con clima cálido áridos. Siendo su motor principal la radiación solar; este mejorando la ventilación natural y en algunos casos suministrando aire fresco, fundamentalmente es una torre vertical hueca en forma de columna por lo regular pintadas en color negro, adosadas en losa o muro, este sistema fluye el aire hacia el exterior por su extremo superior; al estar adosada a un espacio por medio de un hueco inferior el aire interior del espacio reemplaza al de la chimenea generando este movimiento de aire; y de manera sucesiva por medio de un hueco en el extremo opuesto de la habitación el aire exterior penetra dentro de la habitación, generando un flujo de aire a través de estos volúmenes. (Ilustración 3) Este sistema de ventilación se genera en el esquema de ventilación cruzada (Santamouris, 2007).

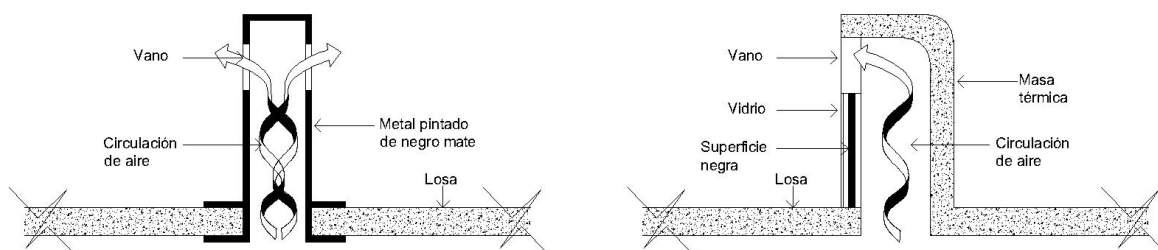


Ilustración 3.- Elementos que conforman la chimenea solar, fuente: elaboración propia, a partir de David Morillón, 2022

2.4.1 Ventilación

Para las regiones cálidas, se trata de obtener un confort del viento ya que es un factor primordial, ya que este se usa como estrategia de control en la arquitectura bioclimática creando flujos convectivos, que regulan la cantidad de humedad y sobre todo la calidad del aire.

La renovación de aire es indispensable en cualquier espacio habitacional, ya que este al no existir, la temperatura y humedad se elevarían a niveles mayores que los exteriores, esto producto de las aportaciones internas de calor y humedad del factor usuario; incrementando considerablemente la sensación de disconfort: es por ello que la ventilación es una de las principales prioridades del diseño arquitectónico para los espacio en generar estas renovaciones y movimiento sensible de aire a través de los usuarios.

Los sistemas de ventilación pasiva consisten en el aprovechamiento predominante según sea la orientación del proyecto a desarrollar, esto con el fin de mejorar las condiciones de confort hacia su interior de la edificación, el bienestar físico y psicológico del hombre, cualquier análisis de su dinámica de vientos lo realiza mediante la rosa de los vientos de la región. (Ilustración 4)

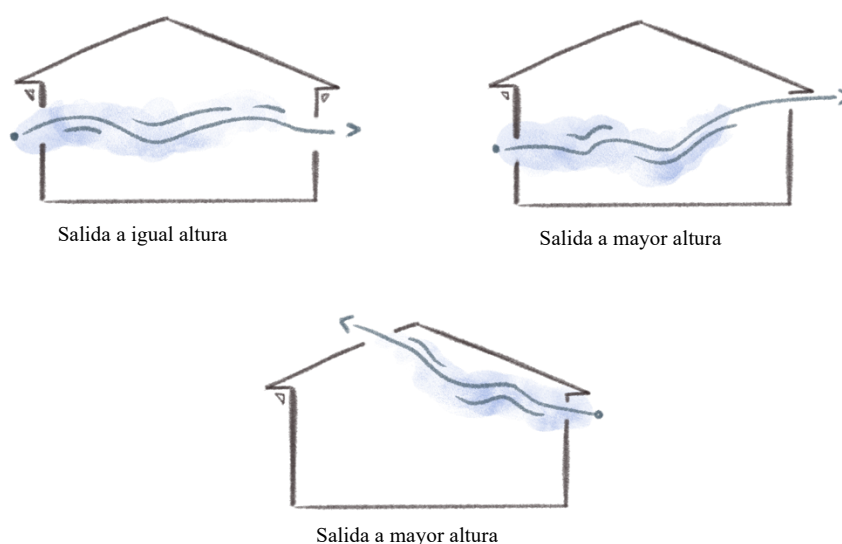


Ilustración 4.- Esquema de ventilación cruzada, fuente: elaboración propia.

2.5 Principio Físico

La arquitectura debe optimizar las relaciones energéticas con el medio ambiente, mediante el diseño.

2.5.1 Chimenea solar

La palabra chimenea llegó al español a través del francés cheminée, derivada del griego káminos; esta toma la energía proveniente del sol, en forma de otros campos de energía como por ejemplo la gravitacional, disponible en el sistema solar, es el impulso inicial que directamente o transformada, este genera la dinámica del ecosistema planetario (Simos Yannas, 2006). La energía solar es el motor principal de la dinámica dentro de la atmósfera, del océano, del clima y de la biosfera. (Ilustración 5)

La repercusión del viento contribuye al bienestar térmico del cuerpo humano, espacialmente en un clima cálido sub húmedo como lo es la ciudad de Colima, los altos porcentajes de humedad dificultan la pérdida de calor por evaporación, bajo estas condiciones el movimiento del aire facilita la evaporación renovando el aire saturado de humedad en los espacios, logrando de este modo una disminución deseable en la sensación térmica (Givoni, 1969).

La chimenea solar puede incrementar su ventilación durante los meses bajo condiciones de calor extremo como lo son en verano y como soporte de otros sistemas pasivos que actúen efecto de ventilación cruzada (Santamouris, 2007).

Existen diferentes maneras de generar el intercambio de aire por mencionar algunos: la ventilación mecánica, que permite controlar en todo momento el flujo de aire, su calidad y temperatura; y la ventilación natural su mantenimiento es mucho menor, genera menor ruido y sobre todo no utiliza energía eléctrica para desplazar el aire.

El flujo del aire a través de un espacio habitacional es inducido por los gradientes de presión a través del mismo. Estas diferencias de presión se producen mediante dos fuentes, la fuerza que ejerce el aire sobre el edificio conocida como fuerza de viento y los gradientes

de temperatura entre el aire interior y el exterior, conocido como fuerza térmica (Givoni, 1969).

Desde otro ángulo, el sentido de la chimenea solar es liberar el aire caliente desde el interior, las diferencias de temperatura son causadas por las ganancias térmicas generadas por diversos factores como, por ejemplo: ocupación, radiación y conducción, es remover el aire caliente del interior de la edificación (Santamouris, 2007).

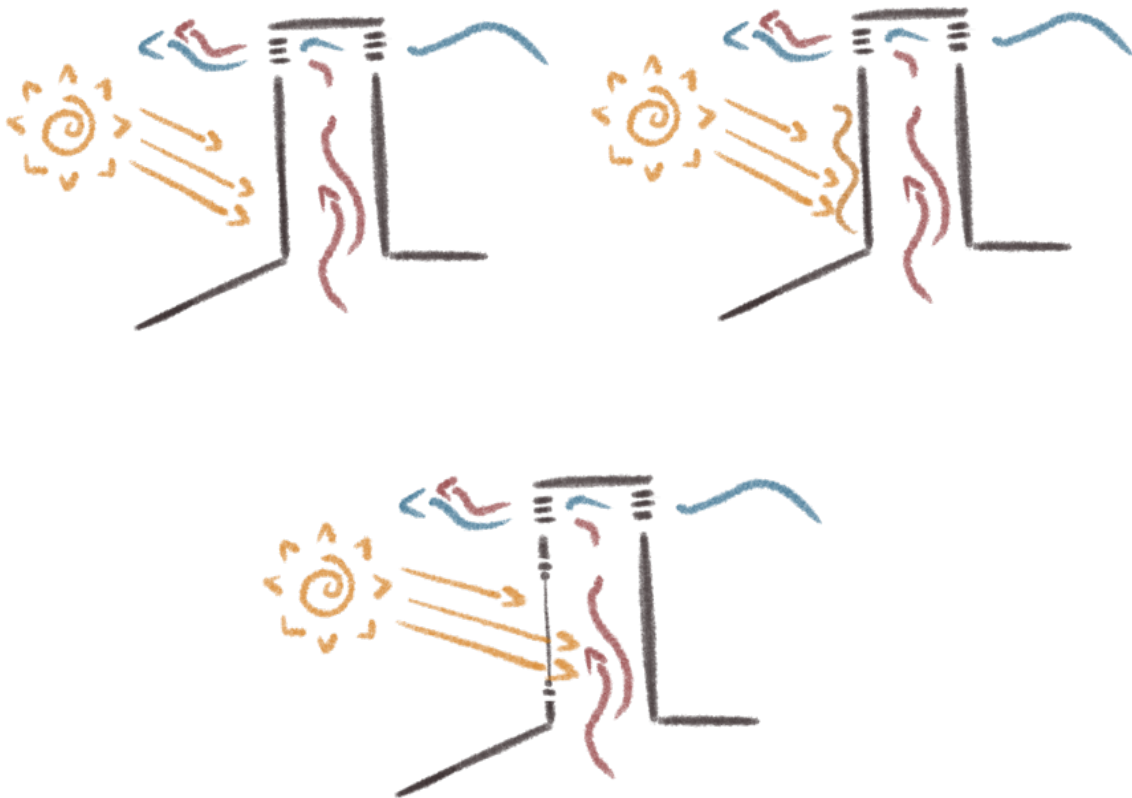


Ilustración 5.- Esquema del funcionamiento de la chimenea solar, fuente: elaboración propia.

2.5.2 Tubo subterráneo

La palabra de origen griego, "geos" que quiere decir tierra, y de "thermos" que significa calor: el calor de la tierra, esté generado a través de un sistema de tubos enterrados o Pozos Canadienses llevan el aire exterior hasta el interior la construcción, para adquirir la temperatura del subsuelo (Ilustración 6). Este permite hacer uso del subsuelo de cualquier lugar, no requieren excavaciones a grandes profundidades y representan una solución de bajo costo, ecológica, eficiente y sostenible para atemperar los excesos de calor o de frío en las edificaciones.

El calor es otra forma de energía, y la temperatura del subsuelo es la base fundamental para la utilización los tubos subterráneos como sistema de climatización, literalmente, el calor contenido en el interior de la tierra, la cual genera un fenómeno geológico a escala planetaria (Hollmuller & Lachal, 2005).

Esta tecnología se encuentra en diferentes rastros históricos en las regiones mediterráneas donde es conocida como pozo provenzal (por su origen en la Provenza, Francia), pozo romano o túnel de aire, ya en la actualidad, se le ha conocido más por su nombre de pozos canadienses. Este sistema de intercambio de calor se enmarca en las soluciones que la arquitectura bioclimática está rescatando como una alternativa al aire acondicionado, para reducir el uso de energía y su impacto negativo para el medioambiente. (Hollmuller & Bernard, 1999).

Un pozo provenzal o tubos subterráneos, aparentemente es un sistema geotérmico sencillo y a poca profundidad, este capaz de aprovechar las temperaturas estables de la capa superficial del subsuelo (conductividad térmica). Su principal funcionamiento se basa en el hecho de la temperatura del subsuelo presenta una diferencia con la del ambiente (intercambiadores de calor tierra-aire). Esta diferencia se acentúa y se mantiene estable entre los 18° C y los 24° C aproximadamente de 1.5 a 4 metros de profundidad, (Rehau, 2012) esta temperatura media puede variar dependiendo de la zona geográfica y de las condiciones del

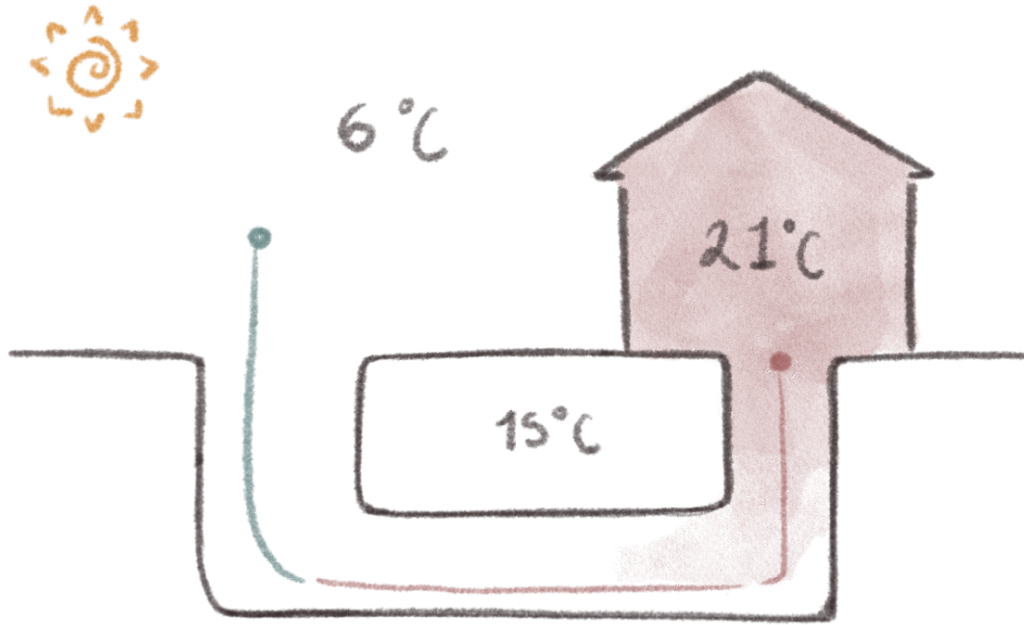
clima. Se considera que a una profundidad aproximada a los 10 o 15 metros la temperatura es prácticamente constante a lo largo de todo el año. (Neila F., Bedoya C. 1997).

Los recursos geotérmicos pueden definirse como la estimación de recursos de energía geotérmica que pueden llegar a estar disponibles para ser utilizados, dadas determinadas suposiciones razonables sobre tecnología, economía, política, y contrastes ambientales. El recurso propiamente dicho, es la energía térmica ubicada a pocas profundidades como para poder acceder a ellas mediante perforaciones de manera tecnológica, legal y económicamente accesibles para todos.

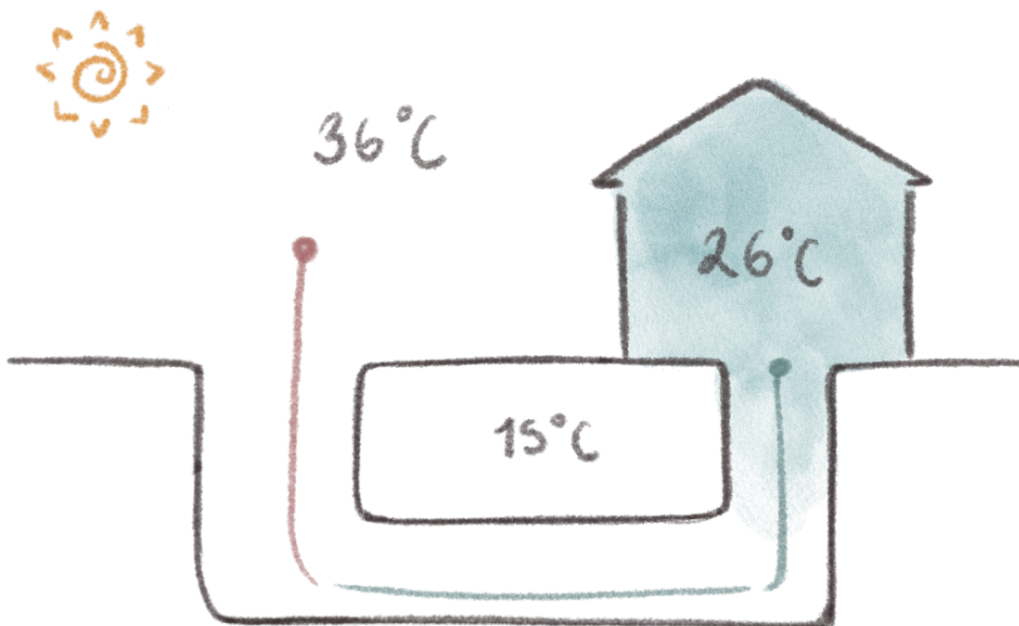
Debido a que la preocupación sobre el impacto que tienen las actividades humanas sobre el ambiente en la construcción a incrementado, por su naturaleza la producción de energías renovables han realizado un foco de suma importancia a estas fuentes inagotables de energía limpia, por ello la energía geotérmica es una de las mejores alternativas a las energías de fuentes tradicionales, debido a que es renovable, una fuente energética casi infinita y es independiente de las condiciones climáticas (Bonté, 2012).

Los tubos subterráneos hoy en día se conocen como un intercambio geotérmico que este asegura que su función sea climatizar sea en verano o invierno según su zona geográfica y uso, este sistema consiste es hacer circular el aire desde su exterior al interior de la edificación a través de conductos bajo la tierra y/o enterrados, que son los que permiten el intercambio tierra - aire (Vidal & Vidal, 2011). Existen muchas construcciones donde se han implementado este tipo de sistemas, y se han obtenido su eficiencia, pero esto aún no se han podido determinar una metodología de diseño específico ya que depende del tipo de terreno y la superficie que contiene, el clima, y el tipo de uso por mencionar algunos, así que estos factores influyen su ejecución y actuación. (Vidal & Vidal, 2011).

Así como las dimensiones del sistema de tubos subterráneos, los conducto, temperatura y velocidad de entrada del aire sobre la temperatura de salida del aire han sido estudiadas por diversos autores (Flores Larsen y Lesino, 2000; Gauthier et al., 1997; Mihalakakou et al., 1994).



Esquema de funcionamiento en invierno



Esquema de funcionamiento en verano

Ilustración 6.- Esquema del funcionamiento de los tubos subterráneos, fuente: elaboración propia.

2.5.3 Escala de Beaufort

Son un conjunto de valores cualitativos en metros sobre segundo (m/s) estos enumerados de 0 a 12 para así determinar la intensidad del viento de acuerdo a sus efectos físicos en el entorno, si tomamos en cuenta la gráfica de Victor Olgay serían los siguientes: (Tabla 1)

Δ 0 calma	0.0 a 0.2 m/s
Δ 1 débil	0.3 a 3.3 m/s
Δ 2 moderado	3.4 a 7.9 m/s
Δ 3 algo fuerte	8.0 a 13.8 m/s
Δ 4 fuerte	13.9 a 17.1 m/s
Δ 5 violento	17.2 a 28.4 m/s
Δ 6 borrasca o huracán	28.5 a 32.7 o más m/s

Tabla 1.- Escala de Beaufort, fuente: elaboración propia a partir de parámetros utilizados por la Comisión Nacional del Agua, 2022.

Estos valores de la base de datos, se utilizaron para determinar el potencial de viento en el área durante la experimentación, siendo los más importantes, velocidad y dirección del viento.

2.5.4 El aprovechamiento del suelo en la inercia térmica

Los intercambiadores de calor tierra-aire, como lo son los tubos subterráneos, son óptimos porque estos permiten utilizar las inercias térmicas diarias y estacionales existentes en el subsuelo. Es decir, es el aprovecha las características del suelo de mantener la temperatura interior frente a los cambios del exterior, por la cual se consigue una temperatura constante de 15°C a una profundidad adecuada en cualquier parte del mundo, sea día o de noche, e invierno o en verano (Cabezas, 2012).

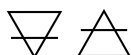
Pese a la globalidad que se ha enunciado para la disponibilidad de esta energía, su rendimiento puede ser muy diverso (enfriar o calentar), según la temperatura de la que se disponga. Es elemental el comportamiento del suelo en cuanto a la transmisión del calor a través de ello y a su capacidad de almacenarlo, condicionarán en gran medida el rendimiento de los aprovechamientos de este tipo de energía del subsuelo (Santilli, 2014).

Si hacemos un estudio de la temperatura que tiene el subsuelo a medida de su profundidad en diferentes épocas del año, obtendremos un gráfico como el de la ilustración 7 en el cual observaremos cuatro líneas curvas.

Azul: Invierno, a medida que profundizamos, la temperatura va aumentando hasta alcanzar un valor fijo de 10°C.

Rojo: verano ocurre lo contrario; a medida que profundizamos la temperatura desciende hasta los 10°C.

Verde y Amarillo: primavera y otoño las variaciones son menores, llegando a alcanzar, en profundidades, del mismo valor de 10°C.



Es decir, a una profundidad superior, el salto térmico que este produce del exterior es escaso; mientras que, a una profundidad mayor, apenas hay variación térmica en el subsuelo.

A continuación, se observa el esquema “Temperatura del suelo” en función de la profundidad:

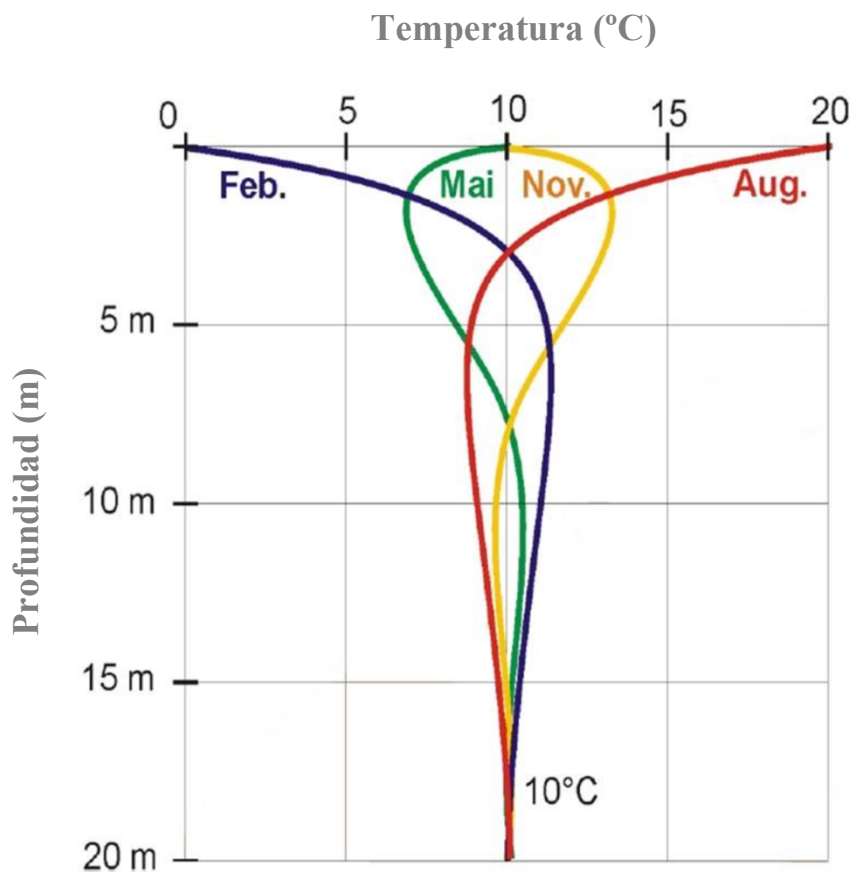


Ilustración 7.- Temperatura del suelo en función de la profundidad, fuente: elaboración propia a partir de Girodgeterma, (2022).

2.5.5 Propiedades geotérmicas del suelo

Formas de transferencia de calor dentro de un medio, como lo es el suelo, está definida por dos propiedades: la capacidad calorífica y conductividad térmica, que son la base fundamental para el funcionamiento de los tubos subterráneos.

Las propiedades térmicas del suelo reflejan la radiación, su baja conductividad hace que la radiación del calor en el suelo sea muy lenta, al igual que su enfriamiento (Tabla 2) (Xamán, et al., 2014).

Capacidad calorífica: Es la propiedad térmica natural del suelo es capaz de retardar el calor si cambia la temperatura, pero sin cambiar de fase (Cuevas & González Penella, 2008 en Cabezas, 2012). Cada tipo de suelo tienen sus rangos de capacidad calorífica, en la tabla N°2, se observa que es un buen acumulador de calor.

Conductividad térmica: Es la propiedad propia del suelo que está relacionada con su habilidad para conducir calor y con el movimiento de la energía del calor a través del suelo. El calor se mueve de un área de alta temperatura a un área más fría, distribuyéndose a sí mismo para llegar a una estabilidad. Los suelos húmedos son preferibles gracias a su mejor conductividad térmica que a los de suelo seco, aunque un exceso de grado de humedad no es conveniente. Por lo tanto, un suelo arcilloso y húmedo permite una mejor conductividad térmica que un suelo con características de duro. Los suelos arenosos, rocosos o volcánicos, por el tamaño de sus partículas, los valores de conductividad son más bajos por su elevada porosidad (Cuevas & González Penella, 2008 en Cabezas, 2012).

Tomando en cuenta estas dos propiedades se puede establecer que, a determinada profundidad, tanto la masa y enfriamiento del suelo es lento. En la tabla N°2 se establecen los diferentes tipos de suelos versus la conductividad térmica y capacidad calorífica (Cabezas, 2012).

Material	Conductividad Térmica (J°/C/s)	Capacidad Calorífica (J°/cm3/s)
Suelo arenoso húmedo	0.017	1.68
Arena	0.003	1.26
Arcilla	0.0025	1.26
Orgánico	0.0126	2.39
Nieve Compactada	0.0029	0.92

Tabla 2.- Propiedades térmicas de los suelos para el dimensionado y diseño del sistema subterráneo mejorando la eficiencia energética de sistemas geotérmicos en climatización geotérmicos en climatización. fuente: elaboración propia.

Como se mencionó, la masa del suelo posee la capacidad de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente, es decir posee una gran inercia térmica, por lo tanto, el suelo es usado como acondicionamiento térmico en edificaciones.

Es importante hacer mención que en muchas de las situaciones que se presentan estos mecanismos en la naturaleza, el calor fluye no por uno, sino por varios de ellos actuando además en forma simultánea. Estas propiedades o componentes que poseen los materiales y que determinan su comportamiento en el ambiente.

Es fundamental para el sistema de tubos subterráneos, conocer las propiedades físicas del suelo y sus componentes, el sistema se basa en un fenómeno físico por el que el aire solo necesita unos instantes para atravesar el dispositivo (tubo), y sale con una temperatura adecuada dependiendo de la época del año (Cabezas, 2012).

2.6 Medio Físico Natural

Para Ferreiro (1991), “en la integración con su medio, el clima constituye un factor ambiental que influye en su forma de vida en donde el medio físico natural es aquel formado por montañas, ríos, lagos, mares, valles, la vegetación, el clima, entre otro, todo lo natural sin la intervención del hombre. Para caracterizar el medio físico natural en donde se realizará el proyecto, se debe analizar sus particularidades mediante el estudio de topografía, edafología, geología e hidrología”.

- a) **Topografía:** Es la ciencia que estudia el conjunto de procedimientos para determinar las posiciones de puntos sobre la superficie de la tierra, y es un elemento fundamental que condiciona en gran medida la disposición del asentamiento aportándole un carácter singular. Hernández (2003).
- b) **Edafología:** La palabra edafología significa el estudio del suelo; se puede definir al suelo como la capa superficial de la corteza terrestre, en la cual se encuentra el soporte de la capa vegetal natural y gran parte de las actividades humanas. Es necesario conocer las características de los suelos para el buen manejo agrícola, pecuario, forestal, artesanal y de ingeniería. (INEGI, 2021).
- c) **Geología:** Es la ciencia que estudia la forma interior del globo terrestre, de las materias que lo componen y de su formación, de los cambios o alteraciones que éstas han experimentado desde su formación. El saber el tipo de rocas en la zona permitirá tener las bases generales para poder considerarlas en el diseño estructural.
- d) **Hidrología:** En términos geográficos es la descripción de los recursos acuíferos, superficiales o subterráneos de un territorio dado. Está determinada por las existencias del agua circulante en el ciclo hidrológico de la cuenca correspondiente. Álvarez (1996); por lo tanto, la cercanía o alejamiento a una cuenca hidrológica influirá en la humedad de la zona.

2.6.1 Climatología

Los datos climatológicos normalizados sirven para definir las características climáticas de una región en particular, para que estos datos se puedan considerar normales deben estar basados en registros de por lo menos diez años, solo de esa forma la caracterización climática puede ser confiable (Fuentes, 2004).

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas que se caracterizan a una zona geográfica y se puede considerar que, al promediar lecturas de los diferentes elementos durante periodos largos de tiempo, estas magnitudes son los valores normales de temperatura, humedad, presión, lluvia, entre otros, para cada zona específica.

El clima es uno de los factores fundamentales del diseño bioclimático, ya que en gran medida determina los conceptos y esquemas arquitectónicos. Es aquí en donde un diseño que responda al lugar: es decir que el clima moldea la respuesta de la arquitectura.

- a) **Humedad:** La humedad es el contenido de agua en el aire. Existen diversas escalas para su medición entre ellas la humedad relativa, expresada en porcentajes y se refiere a la cantidad de agua necesaria para saturar el aire a una misma temperatura; ésta se mide cuando se obtiene una relación entre el termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo. El uso de la humedad relativa en el diseño bioclimático se convierte en una herramienta básica de climatización pasiva, debido a su efecto en los espacios y su bajo costo.

- b) **Oscilación Térmica:** También conocida como amplitud térmica es la diferencia entre la temperatura más alta y la más baja registrada de alguna zona o lugar, durante un periodo de tiempo que puede ser un día, mes, año, etc. En las series climáticas la amplitud térmica es la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la del más frío, por lo general, los climas que corresponden a zonas costeras, como lo es nuestro caso de estudio, o cercanas al mar presentan oscilaciones térmicas bajas, por los efectos moderadores de la masa hídrica. Por el contrario, los climas de zonas

continentales o también conocidas como mediterráneas, suelen presentar una fuerte oscilación térmica tanto diaria como anual, con la excepción de las zonas ecuatoriales, donde las altas temperaturas son constantes, estos pueden considerarse a una amplitud térmica baja hasta los 10°C, y altas por encima de los 18°C.

- c) **Precipitación:** Se refiere a la cantidad de agua que procede de la atmósfera, esta puede ser en forma de lluvia, granizo, llovizna, nieve o bruma; la precipitación pluvial se mide en milímetros de precipitación (mm), en un periodo determinado, donde un milímetro directamente en el diseño puedes condicionar la forma, extensión de cubiertas, inclinaciones y materiales a implementar, así como el diseño de desalojo de aguas pluviales.

- d) **Temperatura:** Es un parámetro que determina la transmisión de calor de un cuerpo a otro en forma comparativa por medio de una escala, dentro de esta existen parámetros como la temperatura media, máxima, máxima extrema, mínima y mínima extrema. Para cualquier diseño bioclimático es indispensable, la temperatura horaria es útil para evaluar la comodidad y el confort térmico del usuario; mientras que para la obtención de las oscilaciones térmicas se utilizan las temperaturas máximas y mínimas. El análisis horario se hará en cuanto a las temperaturas y humedades, para ello se tomarán en cuenta las lecturas registradas a lo largo del día para realizar los valores tabulados de temperatura y humedad horaria. Estos datos son muy importantes para definir cualquier estrategia de diseño bioclimático específico.

- e) **Viento:** El viento es otro parámetro de gran importancia para el diseño, ya que para algunos casos en donde el clima es cálido y húmedo es la principal fuente de climatización. Es un producto por las corrientes de aire en la atmósfera, entre sus atributos se encuentra su dirección, frecuencia, que es el número de repeticiones de una determinada dirección del viento y velocidad; conocer sus atributos permitirá diseñar dispositivos tanto para su aprovechamiento en la ventilación pasiva como para la protección de su incidencia en zonas no requeridas.

2.7 Estado del arte

El beneficio de la temperatura del subsuelo más simple viene siendo usado de forma intuitiva por el hombre desde la Prehistoria (Geoconsultores, 2008).

En teoría, las energías renovables pueden llegar a satisfacer las necesidades energéticas del ser humano. El sol produce un flujo de energía por muy superior al consumo humano. El origen del problema radica en cómo se usa, distribuye, almacena y transforma esta energía inagotable para minimizar el consumo de combustibles fósiles. Hoy en día lo primordial al diseñar una edificación es minimizar el consumo de energía eléctrica, utilizando sistemas pasivos de mínimo costo energético.

En la construcción bioclimática, los tubos subterráneos son intercambiadores de calor tierra-aire, que se utilizan con el objetivo de enfriar y/o calentar con una corriente de aire que circula a través de estos ductos. Tanto la chimenea solar como su principal funcionamiento es la renovación de aire en su interior del espacio habitable.

Se han realizado diversos trabajos que han venido analizando en las últimas décadas, los que se ha demostrado las ventajas de la chimenea solar frente a las chimeneas tradicionales y sobre todo conocer los beneficios que aportan en sistemas de ventilación pasiva, entre los trabajos que se han enfocado más en los aspectos físicos del diseño de la chimenea, como lo es su altura, ancho y/o ángulos de inclinación, recubrimientos, pero sobre todo han utilizado en muchos casos herramientas con CFD (Computational Fluid Dynamics) para llevar a cabo las simulaciones, experimentos, y desarrollo de los diversos modelos. Finalmente, otros trabajos se han centrado en el estudio de la chimenea solar acoplada al sistema de ventilación de un espacio habitacional junto con otros equipos como la pared Trombe, recuperadores de calor o la cavidad de refrigeración, estos estudios muestran la viabilidad de este sistema y hoy en día se puede ver como los nuevos y las remodelaciones que empiezan a instalar este sistema de climatización pasiva.

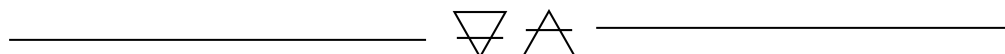
Se recopiló una cantidad de artículos relacionados con la chimenea solar y tubos subterráneos en climas cálido húmedo o muy similares, donde se identificó la ubicación donde se desarrolló el estudio, el año, si han sido adosadas tanto en muros y techos, así como su tipo de material, tal la situación de muchas de las veces depende las condiciones en que este emplazamiento del espacio habitacional de estudio. La mayor parte de estos artículos analizados, se percibe un gran interés por el dimensionamiento y los vanos de entrada y salida de la chimenea solar, cabe resaltar de la eficiencia en el flujo de ventilación también se aprecia que existe un vacío en la experimentación con materiales no transparentes (Tan, A. Y. K. & Wong, N. H., 2013).

Los desempeños que se muestran en esta tabla N°3, de la chimenea solar, mientras en la tabla N°5 habla sobre los tubos subterráneos es revisado a través de las variables como temperatura, diferencia entre temperatura, velocidad del aire, flujo de aire, caudal de aire y los instrumentos de evaluación, modelados a escala, modelo matemático y a escala real.

Tomando en cuenta el estudio de estos elementos en la construcción bioclimática, la base de la utilización de los tubos subterráneos y la chimenea solar como elementos de acondicionamiento pasivo ambiental, para este estudio; denominado sistema mixto de ventilación, es posible solución a los problemas actuales, el aprovechar los recursos naturales como lo son el aire, el sol y las características del suelo.

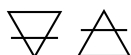
Ciudad/País	Año	CLIMA DEL SITIO DEL ESTUDIO			ELEMENTO DONDE FUE APLICADO		CONFIGURACIÓN					DESEMPEÑO					HERRAMIENTA / INSTRUMENTO			
		CÁLIDO HÚMEDO	CÁLIDO SECO	TEMPLADO	MURO	TECHO	ALTO	ANCHO	LARGO	MATERIAL	VANO DE ENTRADA Y SALIDA	VELOCIDAD DEL AIRE	FLUJO DE MASA DE AIRE/CAUDAL DEL AIRE	CAMBIO DE AIRE POR HORA	TEMPERATURA	DIFERENCIA DE TEMPERATURA	ESCALARA REAL	MODELO A ESCALA	MÉTODO MATEMÁTICO	SIMULACIÓN SOFTWARE (CFD)
Singapore	2013	x			x		x	x	x	x	x			x						x
Malasia	2012	x			x			x		x				x			x	x		
Adrar, Algeria	2011	x				x					x	x	x				x			x
México	2009	x			x		x	x			x	x	x	x					x	
Tailandia	2006	x			x					x	x								x	x
India	2005	x			x		x	x			x	x		x					x	
Malasia	2010	x			x	x				x	x			x			x		x	
Tailandia	2003	x			x	x	x				x			x	x	x	x	x		
Irán	2010	x				x								x	x	x			x	x
Portugal	2000	x			x		x	x			x	x		x	x	x				
EE.UU.	2013	x				x									x					
Nigeria	1992	x				x	x								x	x				

Tabla 3.-Lista cronológica de artículos referentes a investigaciones de chimenea solar situadas en climas cálidos húmedos, fuente: elaboración propia.



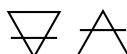
Autor	Año	Área de Estudio	Conclusión
Arce, Jiménez, Guzmán, Heras, Álvarez, Xamán.	2009	Temperatura de aire en el interior de la chimenea solar, flujo de aire.	Incremento del 7% al interior de la chimenea solar; flujo de aire promedio: 177 m ³ /hr con 604 W/m ² de radiación solar.
Bansal, Mathur, Bhandari.	2005	Superficie del colector, color y dimensiones de aberturas.	Entre mayor altura, mayor caudal, 2.25 m ² de colector solar inducen 330 m ³ /hr con radiación solar de 1000 W/m ² con color negro mate.
DeBlois, Bilec, Schaefer.	2013	Chimenea solar inclinada en cubierta comparativa: ventilación cruzada y estándar.	Reducción de hasta un 70% de demanda de refrigeración con un sistema combinado.
Alfonso, Oliveira.	2000	Comparativo entre chimenea convencional y chimenea solar.	La asistencia solar incrementa de 10 a un 22% el flujo de aire.
Bansal, Mathur, Mathur, Jain.	2006	Temperatura de absorbente, canal de aire y placa absorbedora.	La superficie de 1 m ² generó velocidades de hasta de 0.24 m/s.
Maerefat, Haghghi.	2010	Chimenea solar en combinación con intercambiador de calor.	Mayor altura de la chimenea solar incrementa la eficiencia de tubos de enfriamiento.
Yusoff, Salleh, Adam, Sapiain, Sulaiman.	2010	Combinación de chimenea solar de cubierta con chimenea solar vertical (muro).	Diferencia de temperatura de 9.9°C, impacto del factor viento significativo.

Tabla 4.- Lista cronológica de artículos referentes a investigaciones de chimenea solar situadas en climas cálidos húmedos, fuente: elaboración propia.



Ciudad/País	Año	CLIMA DEL SITIO DEL ESTUDIO			ELEMENTO DONDE FUE APLICADO		CONFIGURACIÓN					DESEMPEÑO					HERRAMIENTA / INSTRUMENTO			
		MEDITERRANEO	TROPICAL	TEMPLADO	VIVIENDA	EDIFICIO	ANILLO	REJILLA / RECTA	RADIADOR	MATERIAL	ENTRADA Y SALIDA	VELOCIDAD DEL AIRE	FLUJO DE MASA DE AIRE/CAUDAL DEL AIRE	CAMBIO DE AIRE POR HORA	TEMPERATURA	DIFERENCIA DE TEMPERATURA	ESCALARA REAL	MODELO A ESCALA / SIMULACIÓN SOFTWARE	ACTIVA	PASIVA
Madrid	2013	x			x				x	x	x	x			x	x		x		x
EE.UU.	1996			x		x		x		x	x	x			x	x	x			x
Colombia	2015		x			x			x		x	x	x			x				x
Argentina	2017			x	x			x			x	x	x	x	x	x				x
Madrid	2018	x			x				x		x	x			x	x	x			x
Valladolid	2016	x				x			x			x	x				x			x
Canadá	2000			x	x				x	x	x	x				x				x
Francia	2003			x	x		x			x	x	x		x	x	x				x
Barcelona	2012	x			x			x		x	x	x	x		x	x	x			x
España	2012	x				x			x		x	x			x	x		x		x

Tabla 5.- Lista cronológica de artículos referentes a investigaciones de climatización de tubos canadienses, fuente: elaboración propia.



Autor	Año	Área de Estudio	Conclusión
Cano Jesús. Molina,	2013	Análisis comparativo de la técnica greb y la implementación del pozo canadiense, como alternativas a sistemas constructivos y de climatización convencional.	El estudio realizado de la aportación del pozo canadiense a la vivienda Greb, como aproximación a los 20°C dentro del rango de confort.
Medina Córdoba, L., Vélez Orrego, A.C. & Yucuma Hoyos, A.	2015	Diseño de habitaciones de un eco-hotel en el municipio de Nariño Antioquia a partir de la estrategia: acondicionamiento térmico.	Comparando ambas salidas es decir entrada y salida de los tubos, ingreso se observó varias variaciones entre los 35°C y los 37.5°C, por el contrario, a la salida fue bastante estable se mantuvo entre los 25°C y los 28°C.
Peiretti, Agustina Sol.	2017	Geotermia de baja entalpía en suelos Loessicos: caso de estudio.	Los pozos canadienses por sí solos resultan muy eficientes en la refrigeración en verano, haciendo que puedan sustituir perfectamente a los convencionales sistemas de aire acondicionado; mientras tanto en invierno, resulta insuficiente por sí solos aportar el calor suficiente para climatizar la vivienda.
Seisdedos Marco Antonio. Sáez,	2012	Climatización de edificios por medio del intercambio de calor con	La implementación del sistema geotérmico es perfectamente estable desde un punto de vista

		el subsuelo y agua subterránea.	técnico para la ciudad de Madrid.
Vegas Barbado, Sandra.	2016	Estudio energético de un recuperador de energía geotérmica aplicado a un edificio universitario.	Modelo TRNSYS con medidas experimentales in-situ, simulación de un sistema pre acondicionamiento del aire de ventilación, se observó que el modelo capta las tendencias satisfactorias en la temperatura.
Cabezas, Ana María.	2012	Eficiencia energética a través de utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real “casa pomaret”	Se logró determinar que la variación de la temperatura interior de la vivienda con una variación de entre 1°C y 7°C al abrir el pozo.

Tabla 6.- Lista cronológica de artículos referentes a investigaciones de climatización de tubos canadienses, fuente: elaboración propia.

Equipo de medición

Se describen los posibles equipos e instrumentos a utilizar durante la fase de la experimentación, dichos equipos serán facilitados por el Dr. Arq. Raúl Pável Ruiz Torres, Doctor investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) del área de Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables.

- Δ Data Logger U12-012
- Δ Anemómetro digital manual

2.8 Normatividad

Con base en los estándares internacionales y para la validez de esta investigación de carácter científica, se tomaron en consideración normas internacionales vigentes. Las entidades que emiten y verifican dichas normas con la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (**ASTM**) y la Organización Internacional de Estandarización (**ISO**), así como las Normas Nacionales (**NOM**).

Confort

Δ **C 168- Standard terminology relating to thermal Insulation (ASTM, 2003)**

Indica la terminología referente al aislamiento térmico, la cual nos ayuda a identificar y comunicar el fenómeno de transferencia de energía en los módulos.

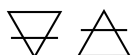
Δ **ISO 7730:2005** Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.

Δ **ISO 9920:2007** Ergonomía del ambiente térmico.

Δ **NMX-C-7730-ONNCCE-2017** Industria de la Construcción-Ergonomía del ambiente térmico-Determinación analítica e interpretación del confort térmico mediante el cálculo de los índices VME y PEI y los criterios de confort térmico local.

Δ **NOM-020-ENER-2011** Eficiencia energética en edificaciones.

Análisis Térmico



Δ **C 1046- Standard Practice for In-Situ Measurement of heat Flux and Temperature on Building Envelope Components (ASTM, 2001a)**

Se utilizó para las técnicas para el monitoreo térmico al interior para mediciones en sitio, así como para la determinación del equipo utilizado y su instalación.

Δ **C 1155- Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data (ASTM, 2001b)**

Se utilizó para la obtención, registro y utilización de datos de temperaturas de mediciones en sitio. Además, para el caso de los módulos, implicó el aislamiento y sellado de los mismos para reducir al mínimo las infiltraciones.

Δ **ISO 13790:2011** Eficiencia energética de los edificios.

Δ **NMX-C-210-ONNCCE-2013** Materiales termoaislantes.

Δ **ANSI/ASHRAE Standard 55-2010** Condiciones Ambientales Térmicas para Ocupación Humana.

Diseño

Δ **ISO 7730:2006** Ergonomía Del Ambiente Térmico.

Δ **ISO 17772-1:2017** Desempeño Energético De Edificios-Calidad Ambiental Interior.

Δ **BS 15251:2007** Parámetros de entrada ambientales interiores para el diseño y la evaluación del rendimiento energético de los edificios que abordan la calidad del aire interior, el ambiente térmico, la iluminación y la acústica.

Todo esto con la finalidad de evaluar la confiabilidad y precisión de los resultados obtenidos en el presente estudio.



CAPÍTULO III

Metodología

Apoyándonos en el modelo experimental de la tesis de maestría del Maestro Arq. José Luis Guerrero Anguiano (2022), la metodología de este trabajo se dividió en tres fases generales: (Figura 2) Investigación del estudio, Características del experimento e Interpretación de datos.

- Δ La primera fase habla de toda característica del estudio, el tipo de enfoque y estudio, diseño metodológico, población y muestra, así como las posibles variables que intervienen en el desarrollo experimental.
- Δ La segunda fase habla sobre las características experimentales, el sitio donde se desarrolla dicho experimento, el periodo experimental, equipos e instrumentos a utilizar, fabricación de los módulos de estudio, prueba pre-experimentales y piloto.
- Δ La tercera fase habla sobre la descripción de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas durante el periodo del experimento (Figura 3).

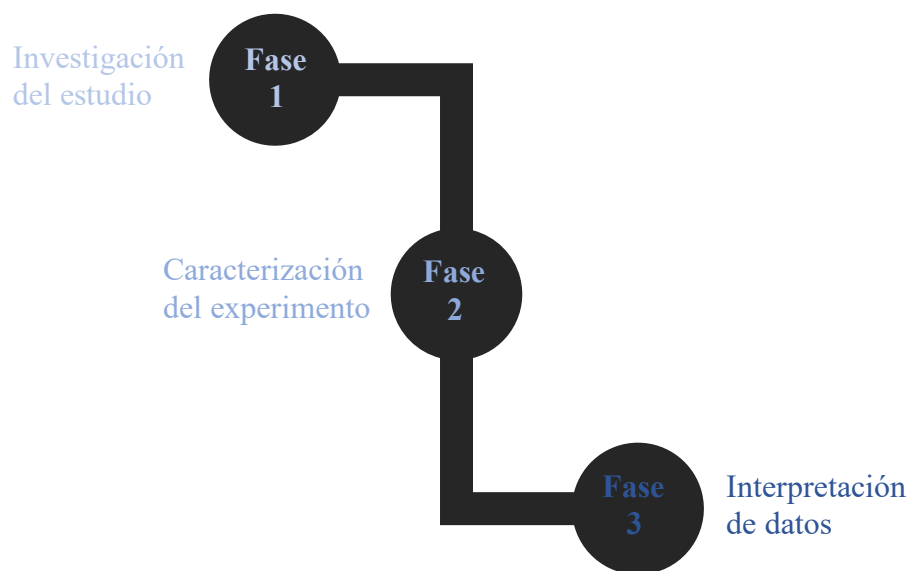


Figura 2.- Clasificación de fases metodológicas, fuente: elaboración propia.

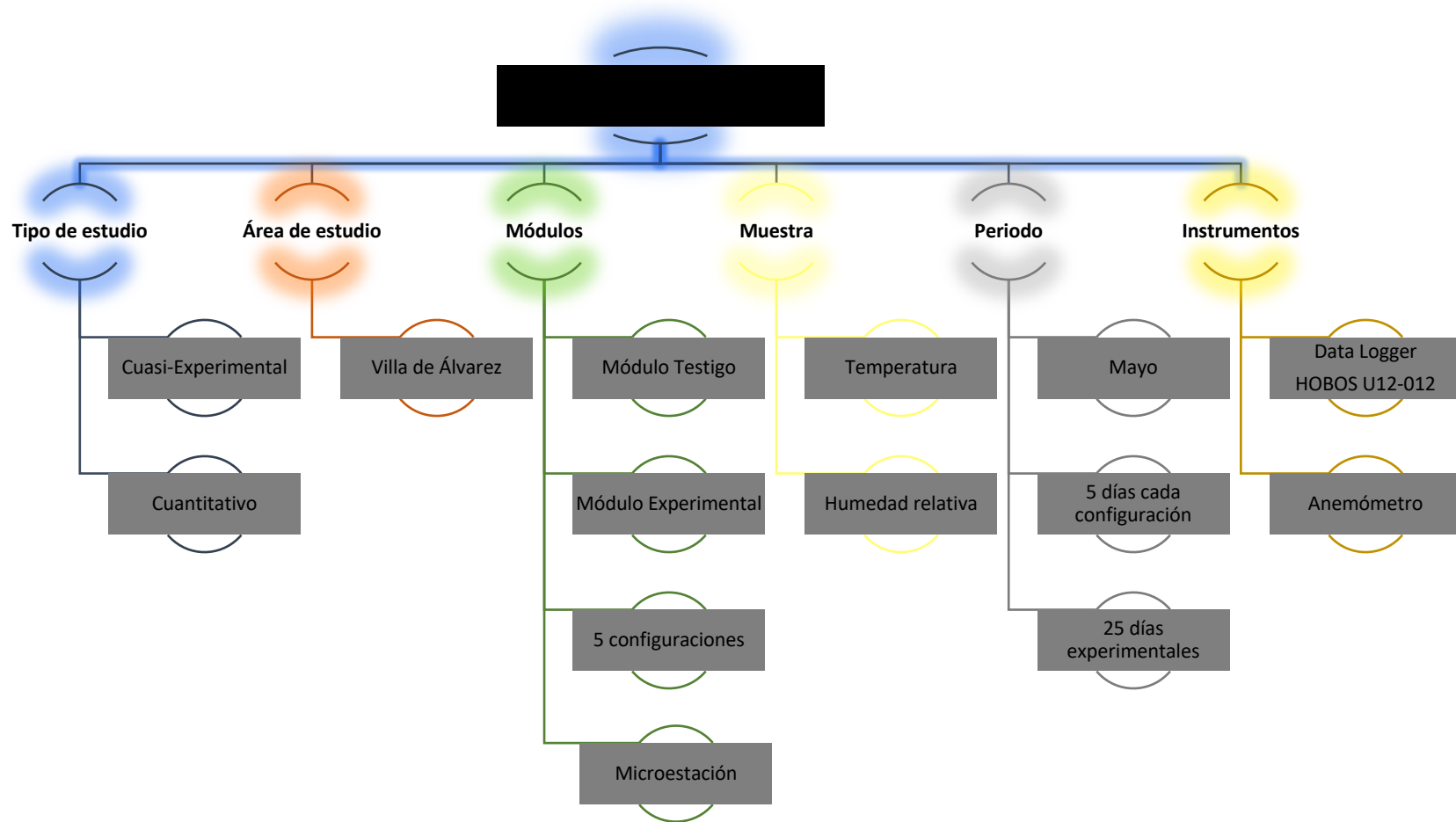


Figura 3.- Diagrama de proceso metodológico, fuente: elaboración propia.

3.1 Enfoque y tipo de estudio

El enfoque de estudio va encaminado a la comparación **cuantitativa** del desempeño de los dispositivos, ya que no se utilizaron variables cualitativas ni se da pie a la subjetividad de los resultados por parte del investigador. El tipo de estudio fue **comparativo correlacional**; los estudios correlacionales tienen como propósito medir el grado de relación que existe entre dos o más conceptos o variables, pero a su vez, de tipo experimental, (Hernández, 1991) divide los diseños experimentales en tres: pre-experimentos, experimentos verdaderos y **cuasi-experimentales**, este último es el que forma parte de la investigación, ya que fue predispuesto un escenario de control del cual pueda ser reproducible, pero no es posible manipular deliberadamente todas las variables independientes. La periodicidad del estudio fue de tipo **transversal** ya que todos los registros de las variables se recabaron en un momento predeterminado de tiempo. La selección de los periodos de monitoreo y configuraciones se especificará más adelante. Dicho lo anterior, para el desarrollo de este trabajo se presenta un estudio: **comparativo transversal, cuasi-experimental, correlacional transversal**. (Figura 4)

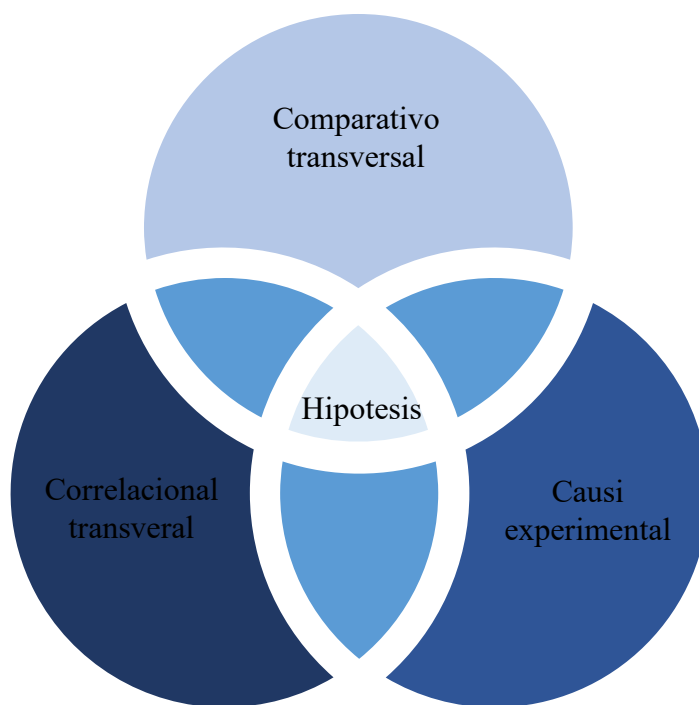


Figura 4.- Proceso de investigación, fuente: elaboración propia.

3.2 Variables

Las variables de control entrarían en la clasificación de variables independientes con la única particularidad de que no es posible manipular deliberadamente, sólo se puede medir, la temperatura de bulbo seco ambiental fue la temperatura del aire al exterior de los módulos experimentales. En tanto que las variables independientes son aquellas en las que el investigador puede manipular y que de alguna manera afectan a las variables dependientes. Estos fueron cada uno de los dispositivos, módulo testigo y módulo experimental, los cuales se definen más adelante, y las variables dependientes fueron la razón del estudio, las cuales dependen de las variables independientes, en este caso de los dispositivos, es decir, están en función de éstas. La temperatura de bulbo seco interior fue la temperatura al interior de cada uno de los módulos de estudio en sus distintas configuraciones.

La clasificación de las variables fue agrupada en tres grupos, variables de control, variables independientes y variables dependientes. (Tabla 7)

Determinación de Variables		
Variabes de Control	Variabes Independientes	Varibales Dependientes
Velocidad del viento	Características del suelo	Humedad relativa
Dirección del viento	Dimensiones de los módulos	
Humedad relativa	Separación de módulos	Temperatura interior (bulbo seco)
Temperatura interior (bulbo seco)	Humedad relativa (exterior)	
	Temperatura exterior	

Tabla 7.- Clasificación de variables, fuente: elaboración propia.

3.3 Universo de Estudio

3.3.1 Del sitio: área de estudio

El área de referencia la cual se llevó a cabo el estudio fue en el Estado de Colima se localiza en la porción centro-occidente dentro del territorio de los Estados Unidos Mexicanos, sobre las costas del océano pacifico sus coordenadas geográficas se localizan al norte en $19^{\circ} 31'$ y al sur $18^{\circ} 41'$ de latitud Norte; al Este $103^{\circ} 29' 20''$ de longitud Oeste. Ocupa el cuarto lugar entre las entidades más pequeñas, con una superficie continental de $5,542.742 \text{ km}^2$ representando aproximadamente el 3% de la superficie del país, este colinda al norte, noreste y noroeste con el Estado de Jalisco, al sureste con el Estado de Michoacán y al sur con el Océano Pacífico. Presenta clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Imagen 4). (INEGI, 2021)



Imagen 4.- Área de referencia. Estados Unidos Mexicanos. fuente: elaboración propia a partir de <http://gaia.inegi.org.mx/> (2021).

3.3.2 Del sitio: área de influencia

El área de influencia directa es el municipio de Villa de Álvarez, Colima, se encuentra ubicado entre las coordenadas de los paralelos 19° 15' 00'' de latitud norte y 103° 40' 00'' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, este se encuentra en una altitud máxima de 1,600 m.s.n.m. y una mínima de 440. La superficie total del municipio es de 287.76 km², representa el 5.1% de la superficie estatal, y el quinto lugar entre los diez municipios del estado. Limita al norte con el Municipio de Comala; al suroeste con el de Colima, al noreste con el de Minatitlán, al suroeste con el de Coquimatlán y al este con el de Cuauhtémoc (Imagen 5). (INEGI, 2021)



Imagen 5.- Área de influencia, División política del Estado de Colima, fuente: elaboración propia a partir de <http://gaia.inegi.org.mx/> (2021).

3.3.3 Temperatura

La gran parte del municipio de Villa de Álvarez, Colima, presenta un clima definido a partir de las modificaciones de Enriqueta García (1973) para la clasificación de Köppen como Aw0(w)(i)g cálido subhúmedo con lluvias en verano (lluvia invernal menor al 5%), temperatura anual isotermal, marcha de temperatura anual tipo Ganges. (Imagen 6)

La temperatura media anual es de 27.1°C, con lluvias en verano, con una máxima media de 33.3°C y una mínima media de 20.9 °C. destacando que el mes con la temperatura máxima registrada es mayo con 39.4°C (Imagen 6). (CONAGUA, 2021)

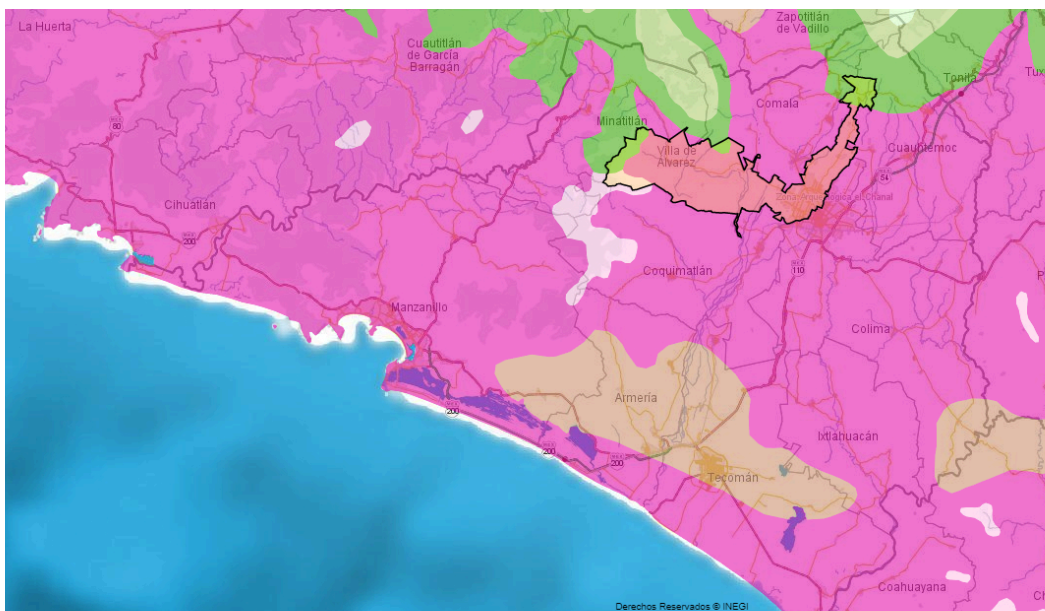


Imagen 6.- Área de influencia. Clasificación Climática de Villa de Álvarez, Colima, fuente: elaboración propia a partir de <http://gaia.inegi.org.mx/> (2021).

En el diagrama siguiente se observa que las temperaturas máximas mensuales para casi todo el ciclo anual, tomando como referencia las normales climatológicas del periodo 1981-2010, (CONAGUA, 2021) donde los registros más altos ocurren en los meses de marzo, abril, mayo y parte de junio. (Ilustración 8)

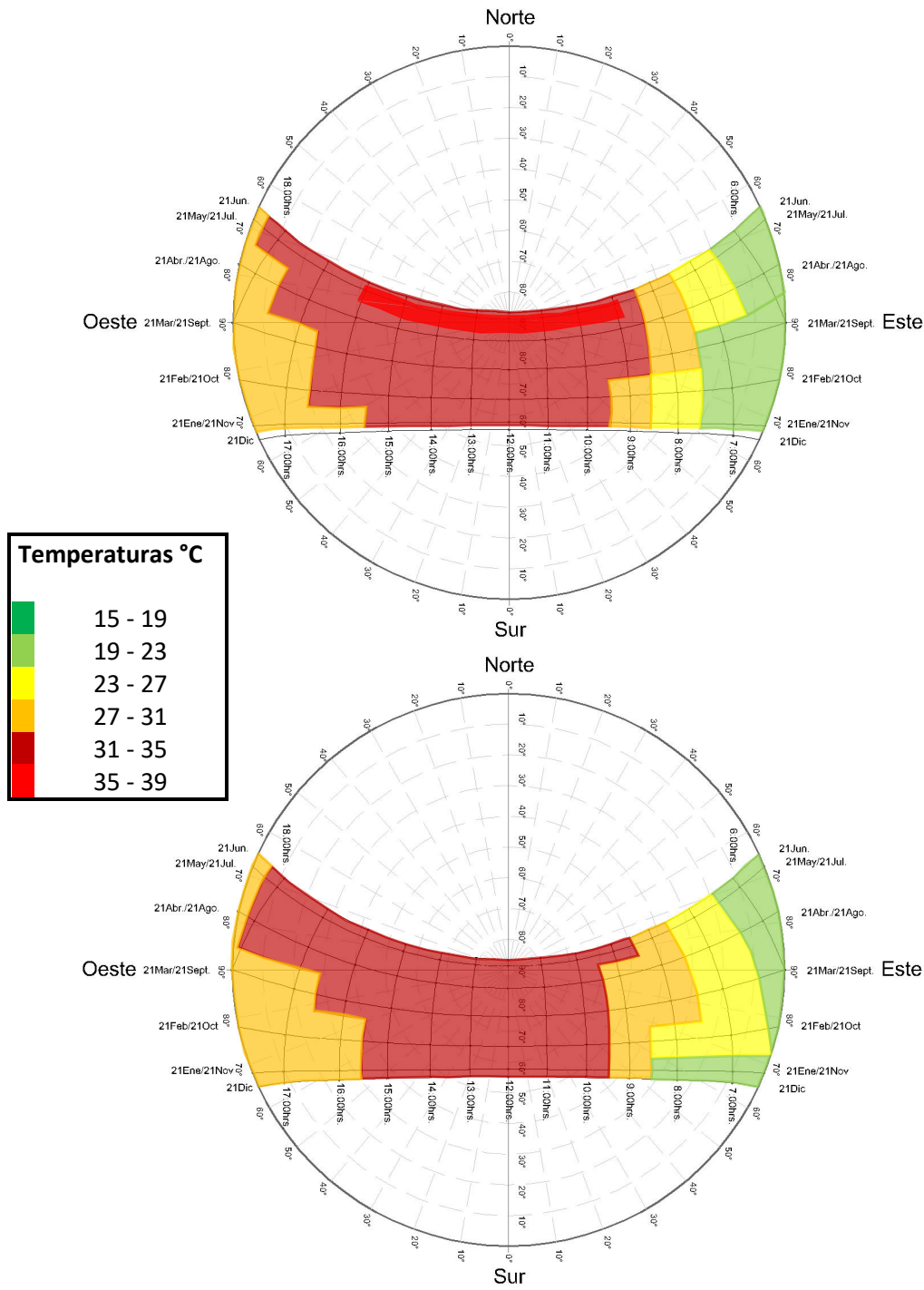
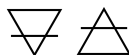


Ilustración 8.- Diagrama estereográfico para Villa de Álvarez, Colima, México incluyendo las temperaturas medias durante el recorrido solar. fuente: elaboración propia a partir de los datos de CONAGUA.



Estos datos se tomaron en cuenta para las fechas en que se realizó la experimentación, siendo mayo el mes más crítico para dicha experimentación. (Ilustración 9)

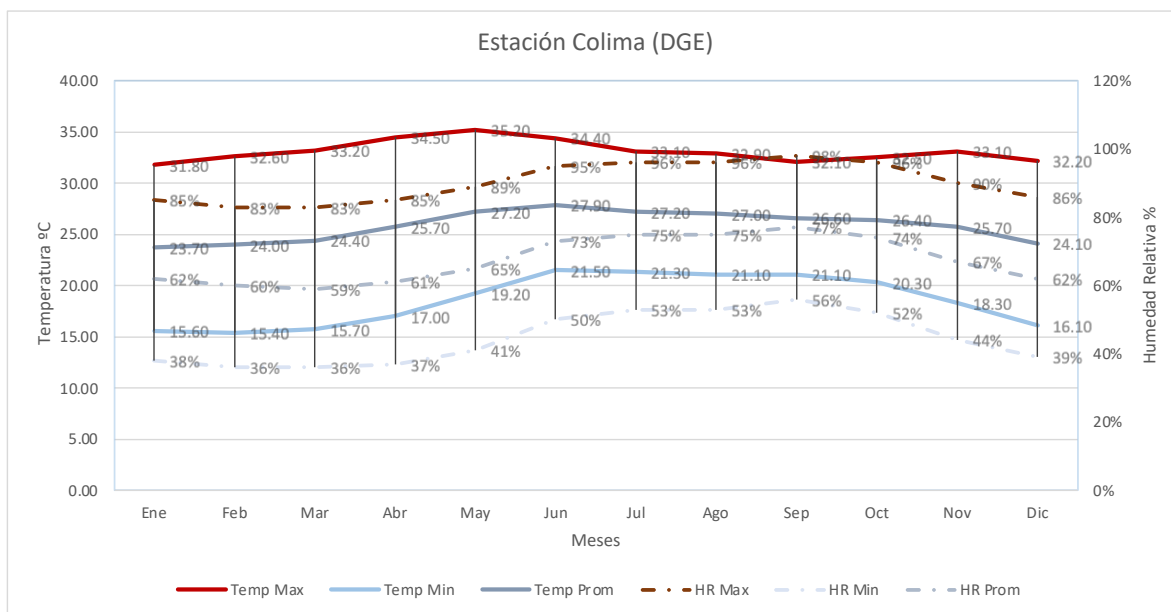
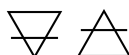


Ilustración 9.- Temperaturas promedio, Colima, Colima (DGE). fuente: elaboración propia a partir de normales climatológicas periodo 1981-2010, CONAGUA.



3.3.4 Flujo de viento

Para este caso por tratarse de un sistema que funciona con radiación solar y ventilación natural, nos servirá analizar el modelo tomando en cuenta los vientos dominantes Noreste y Sureste, (García, 1995). Para saber de qué manera orientaremos la salida del aire del interior al exterior, y evitar que los vientos introduzcan el aire caliente al módulo experimental, en la ilustración 20, se muestra la dirección de los vientos en las diferentes temporadas del año en el municipio de Villa de Álvarez, Colima.

Los vientos dominantes en la zona conurbada de Colima-Villa de Álvarez se manifiestan de la siguiente manera: (Ilustración 10)

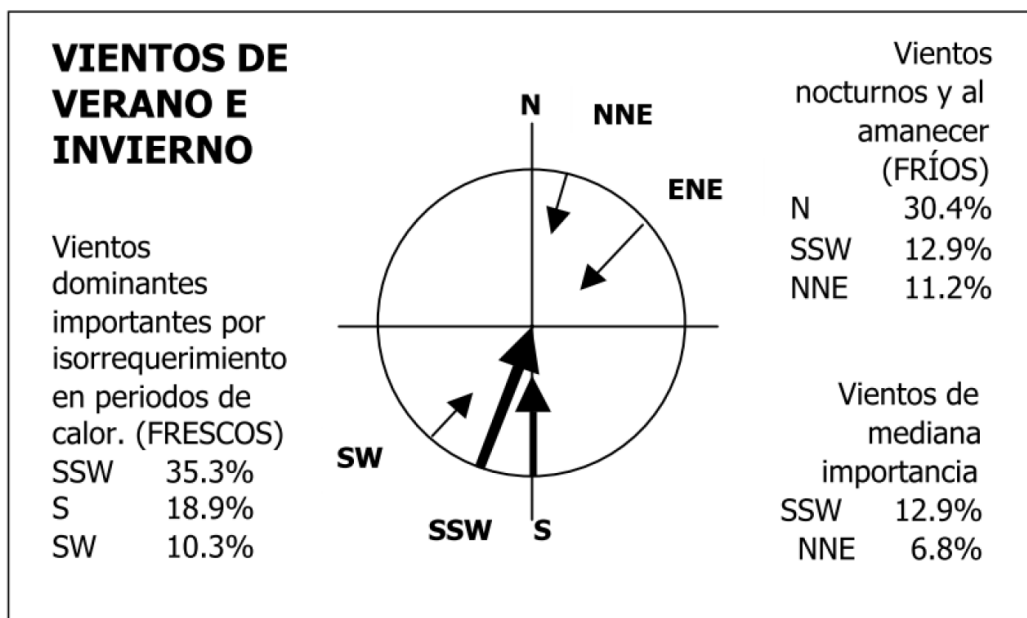


Ilustración 10.- Rosa de los vientos para la ciudad de Villa de Álvarez, Colima. Fuente: Gobierno del Estado de Colima, programa de gestión para mejorar la calidad del aire del estado de Colima, (2021).

3.5 Del sitio: área específica

3.5.1 Localización

El área específica donde se desarrolló el experimento fue dentro de las instalaciones en el Instituto Tecnológico Nacional de México campus Colima (ITC), sobre el área localizada en el extremo noroeste del mismo campus. (Ilustración 11)

3.5.2 Selección de sitio

El sitio para la construcción y/o instalación de los módulos en su periodo de experimentación debe estar exento de construcciones que puedan producir sombras, tanto en relación a su altura, y de igual forma, se evitan las sombras proyectadas de cualquier índole.



Ilustración 11.- Localización del sitio dentro del Instituto Tecnológico Nacional de México campus Colima. fuente: elaboración propia a partir de <http://gaia.inegi.org.mx/> visitada 16 de agosto de (2021).

Fluvisol

Del latín *fluvi*, río. Suelos con abundantes sedimentos fluviales, marinos o lacustres en periodos recientes y que están tradicionalmente sobre planicies de inundación, abanicos de ríos o marismas costeras.

Leptosol

Del griego *leptos*, delgado. Anteriormente están incluidos en el grupo de los Litosoles, del griego *Lithos*, piedra. Actualmente representan suelos con menos de 25 cm de espesor o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o gravas. Son muy susceptibles a la erosión.

Siendo este el que predomina la región a estudio:

Phaeozem

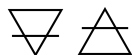
Del griego *phaios*, oscuro, y del ruso *zemlja*, tierra. Suelos de clima semiseco y subhúmedo, de color superficial pardo a negro, fértiles en magnesio, potasio y sin carbonatos en el subsuelo. (Imagen 7)



Imagen 7.- Tipo de suelo phaeozem, In situ. fuente: fotografía propia.

Vertisol

Del latín *vertere*, dar vuelta. Suelos llamados pesados, se crean bajo condiciones alternadas de saturación secura, se forman grietas anchas, abundantes y profundas cuando están secos y con más de 30% de arcillas expansibles.



Una vez identificado y analizado el lugar de la experimentación:

3.5.4 Diagrama Bioclimático

Para Fuentes (2004, p. 185) cita a Szokolay (1984), que la primera persona en definir una zona de confort con fines arquitectónicos a partir de una gráfica de temperaturas y humedades fue Víctor Olgyay (1963), posteriormente fue modificada por Szokolay con ajustes a la temperatura neutra.

El diagrama bioclimático define una zona de confort, la cual se ajusta de acuerdo al cálculo de temperatura neutra, desplazamiento de acuerdo a la escala correspondiente a distintos grados metabólicos, están varían de acuerdo a la actividad que se realizan para un determinado espacio.

Este diagrama se grafica con puntos que relacionan las temperaturas máximas con las humedades mínimas y las temperaturas mínimas con las humedades máximas mensuales, para posteriormente trazar línea que une a los dos puntos graficados, este proceso se repite por cada uno de los doce meses del año y se define los porcentajes de aplicación de cada estrategia, para nuestro caso experimental nos enfocamos en los meses más críticos que fueron, abril, mayo y junio. (Ilustración 13)

El entorno de interés de estudio es el clima cálido subhúmedo, por consiguiente, la estrategia de climatización y con base en el diagrama bioclimático de Olgyay sugiere la estrategia de vientos (ventilación cruzada) en determinadas horas, debido a las altas temperaturas que se presentan, sin embargo, a lo ya mencionado, lo que se busca es el control de un sistema mixto de ventilación.

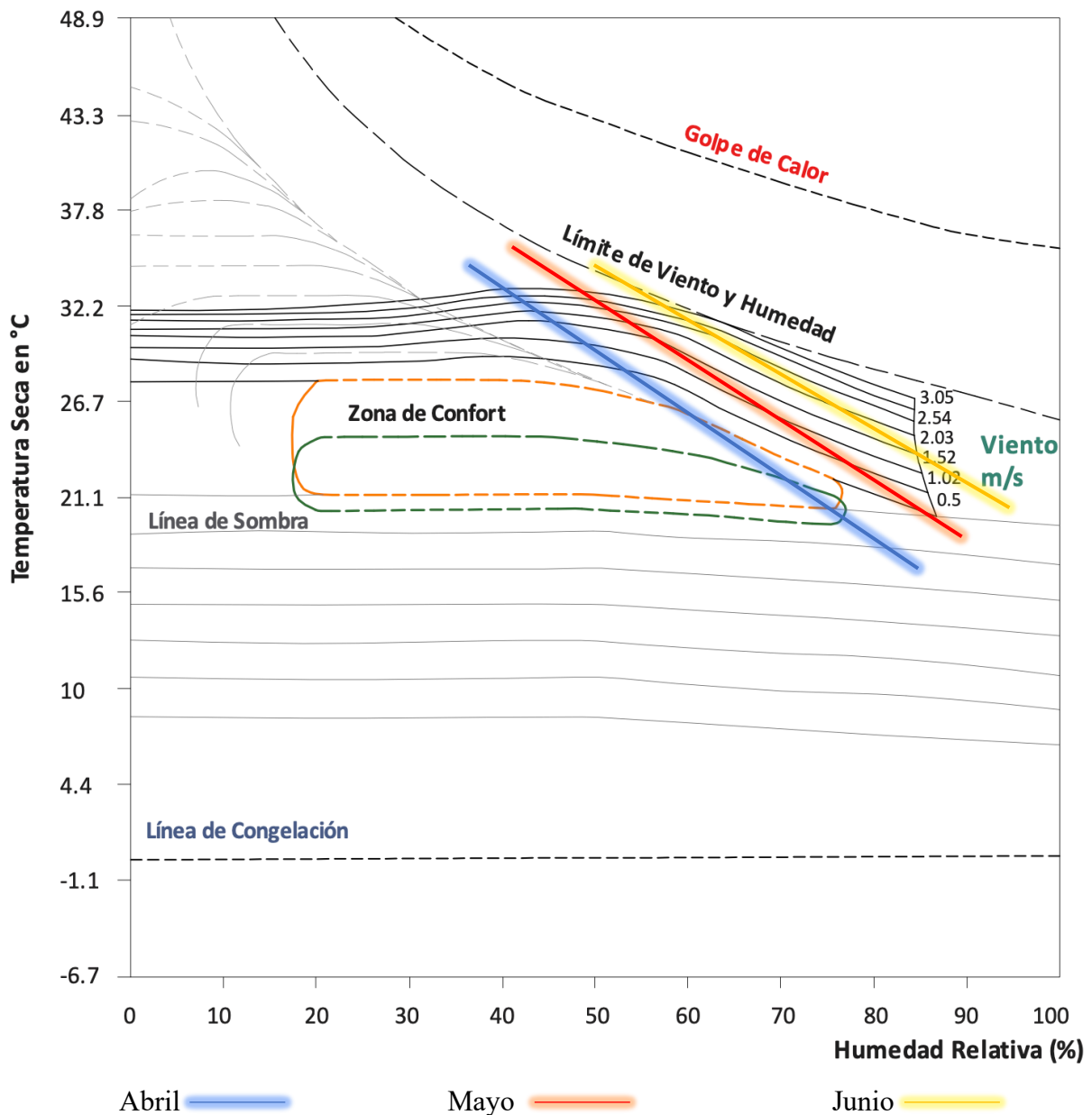
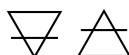


Ilustración 13.- Carta bioclimática de Olgay aplicada a la localidad de Villa de Álvarez, Colima, fuente: elaboración propia.

La carta bioclimática indica, que durante los meses de abril, mayo y junio se maneja la ventilación cruzada, debido a las altas temperaturas que se presentan, solo el mes de abril ingresa un poco hacia la zona de confort por las mañanas.

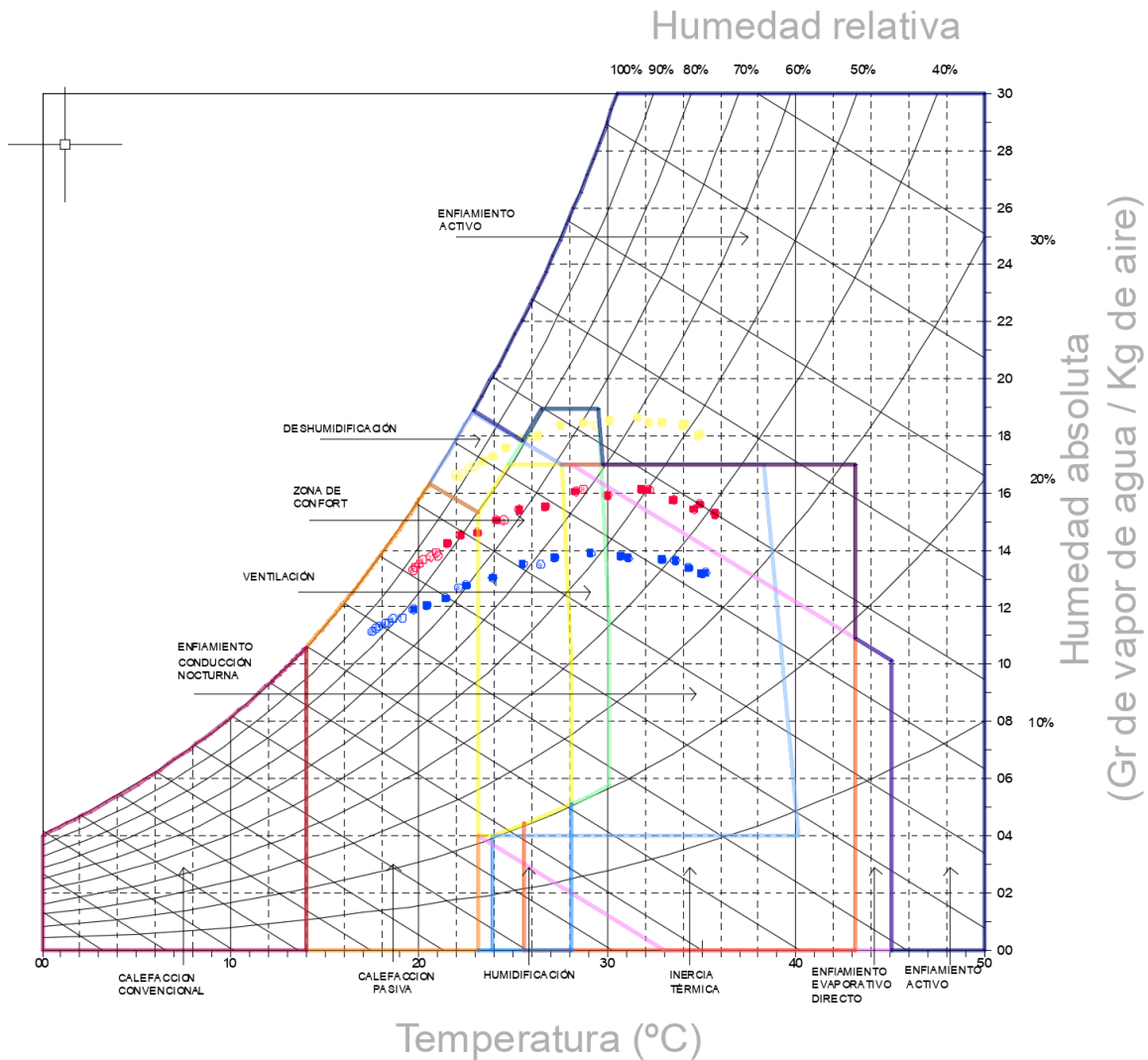


3.5.5 Carta psicrométrica

Buruch Givoni (1963) fue el primero en utilizar la carta con fines arquitectónicos, definiendo una zona de confort y distintas estrategias de un diseño entre las que se encuentran el calentamiento, ventilación, humidificación, enfriamiento evaporativo, masa térmica, masa térmica con ventilación nocturna y sistemas activos o convencionales de acondicionamiento de aire.

La carta se muestran las relaciones y parámetros psicrométrico del aire húmedo, los cuales son: (Ilustración 14)

- △ Temperatura de bulbo húmedo, es la temperatura que tiene un bulbo termométrico permanente humedecido, la temperatura húmeda es siempre menor a la seca excepto en un ambiente húmedo en la cual serían iguales. En la carta se representa como un conjunto de curvas.
- △ Temperatura de bulbo seco, medida por un bulbo termométrico seco y se representa en el eje de las abscisas de la carta.
- △ Humedad absoluta, se expresa como la presión parcial de vapor de agua. Esta se representa en el eje de las coordenadas.
- △ Humedad relativa, expresa como el porcentaje de humedad respecto al máximo que admite la atmósfera y está representada a través de curvas en la carta.



Abril ————— Mayo ————— Junio —————

Ilustración 14.- Datos climáticos de Villa Álvarez, Colima, Implementación en el ábaco psicrométrico de Baruch Givoni.
fuente: elaboración propia.

Como se ha venido mencionando, durante los meses más críticos en el municipio de Villa de Álvarez, Colima es de abril a junio, se debe manejar la ventilación natural durante el día, ya que existe una gran cantidad de humedad relativa entre los 60% al 95% y por la noche, a partir de las 16:00 h. Se deberá evitar las ganancias internas.

3.6 Propuesta de módulos de estudio

Para completar la propuesta de los módulos de estudio, obedecen a los criterios de dimensiones marcadas por el **Reglamento de Desarrollo Urbano y Seguridad Estructural para el Municipio de Villa de Álvarez, Col.** en el cual se menciona que en el **Artículo 108**, (Ilustración 15) las medidas fijadas como mínimas para una habitación en el municipio de Villa de Álvarez, es de 3.00 m x 3.00 m x 2.70 m es decir con un área de 9.00 m².

Con base a este reglamento y por las limitaciones de presupuesto y espacio se optó por utilizar estas dimensiones como mínimas llevadas a una escala de 1:3, para el diseño y fabricación de estos módulos de estudio.

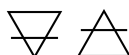
Sección Primera Dimensiones Mínimas Aceptables

Mínimos Dimensionales de superficie.

ARTÍCULO 108.- Los locales de las edificaciones según su tipo, deberán tener como mínimo las dimensiones y características que se establecen en la siguiente tabla, y las que señalen en las NORMAS.

GENEROS LOCALES Y TIPOS DE EDIFICACIONES	DIMENSIONES Área o	LIBRES lado	MÍNIMAS Altura	OBSERVACIONES
1. HABITACIÓN				
Locales Habitables:				
Recámara única o Principal	9.00 m ²	3.00	2.70	—

Ilustración 15.- Mínimo dimensiones de superficie para una habitación, fuente: Ayuntamiento de Villa de Álvarez, (2021).



3.6.1 Módulos de estudio

A continuación, se muestran los planos arquitectónicos realizados para su fabricación de los módulos de estudio: **Planta arquitectónica** (Ilustración 16), **Alzado principal** (Ilustración 17), **Vista posterior** (Ilustración 18), **Secciones** (Ilustraciones 19), **Vista lateral** (Ilustración 20).

- Δ **Módulo Testigo:** Módulo sin ningún tipo de sistema instalado, solo cuenta con un vano.
- Δ **Módulo Experimental:** Módulo configurado con dos sistemas pasivos de ventilación y un vano, la chimenea solar de efecto instantáneo en la parte superior y mientras en su parte inferior el tubo subterráneo, salida de ventilación dentro del módulo y entrada de ventilación afuera de este.

Se construyeron dos módulos de estudio de características idénticas, los cuales se expusieron a las mismas condiciones climáticas, dejando un módulo como testigo e interviniendo en el segundo módulo con aplicación de dispositivos de ventilación para evaluar su desempeño respecto al testigo.

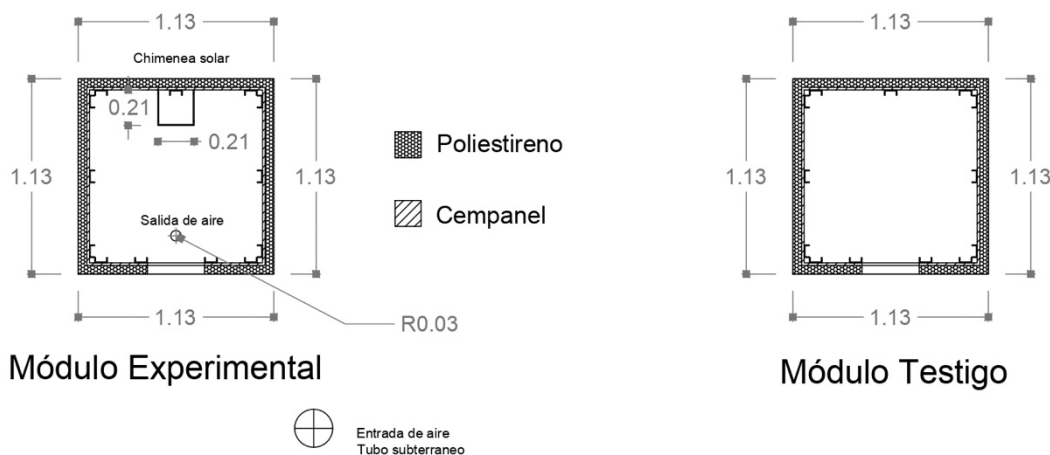


Ilustración 16.- Planta arquitectónica, módulos de estudio. fuente: elaboración propia

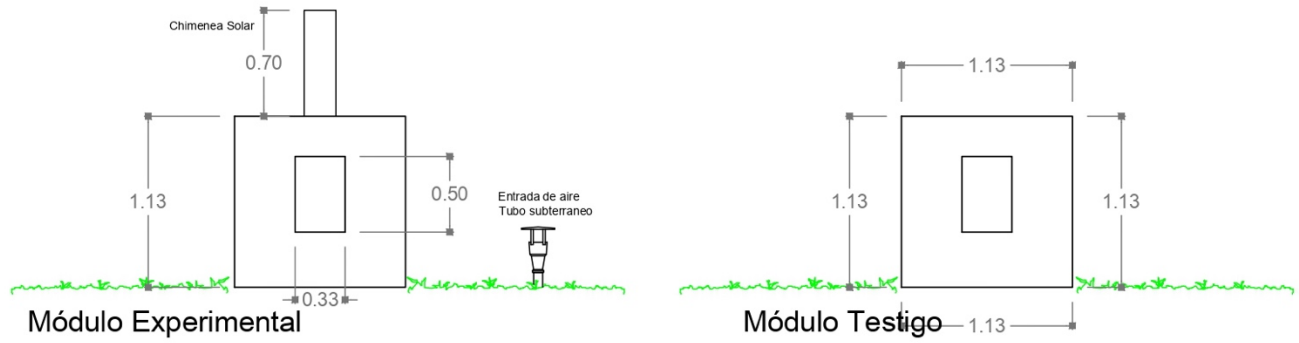


Ilustración 17.- Alzado principal, módulos de estudio. fuente: elaboración propia.

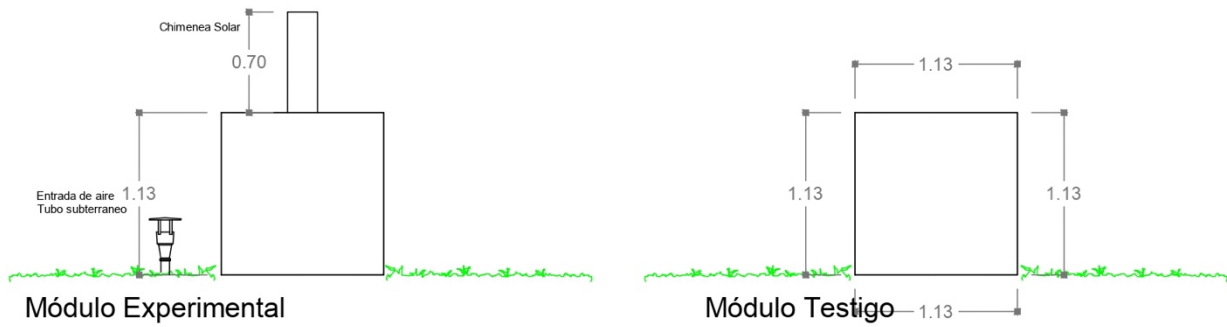


Ilustración 18.- Vista posterior, módulos de estudio. fuente: elaboración propia.

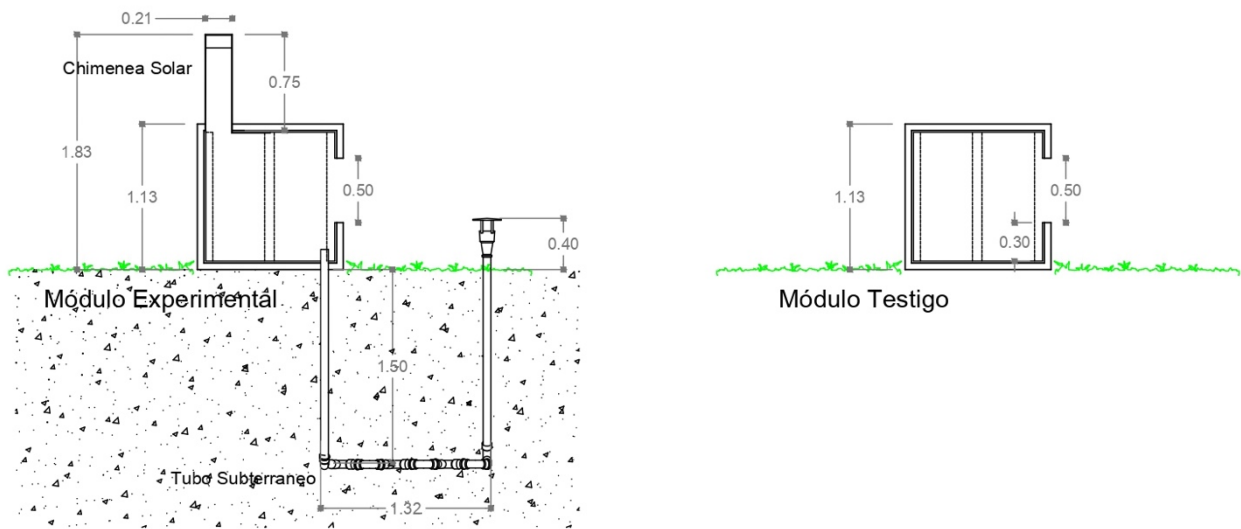
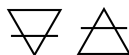


Ilustración 19.- Sección de módulos de estudio. fuente: elaboración propia.



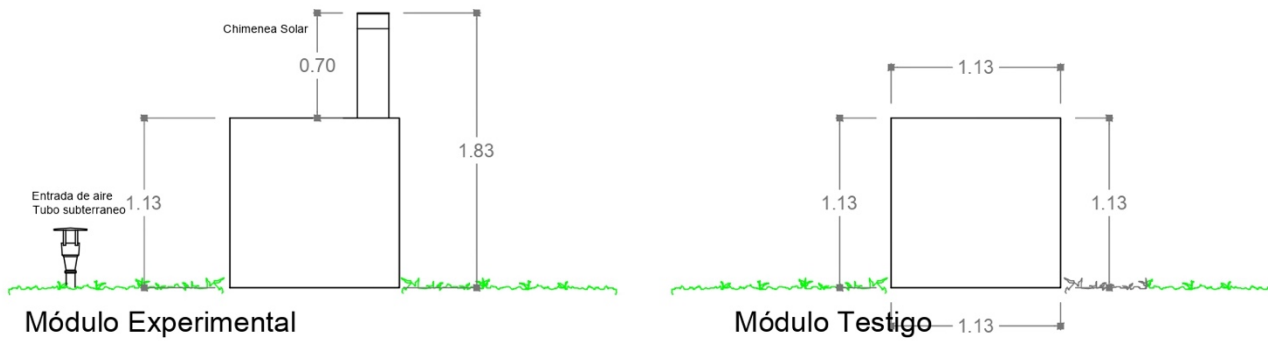


Ilustración 20.- Vista lateral, módulos de estudio. fuente: elaboración propia.

La propuesta arquitectónica de estos módulos de estudio también fue realizada en forma de modelos 3D, en planta (Ilustración 21) y en sección (Ilustración 22), este con el objetivo de poder darnos una idea más precisa y clara, para definir la cantidad de material a utilizar, así como seguir con el prototipo a seguir para su ejecución y experimentación.

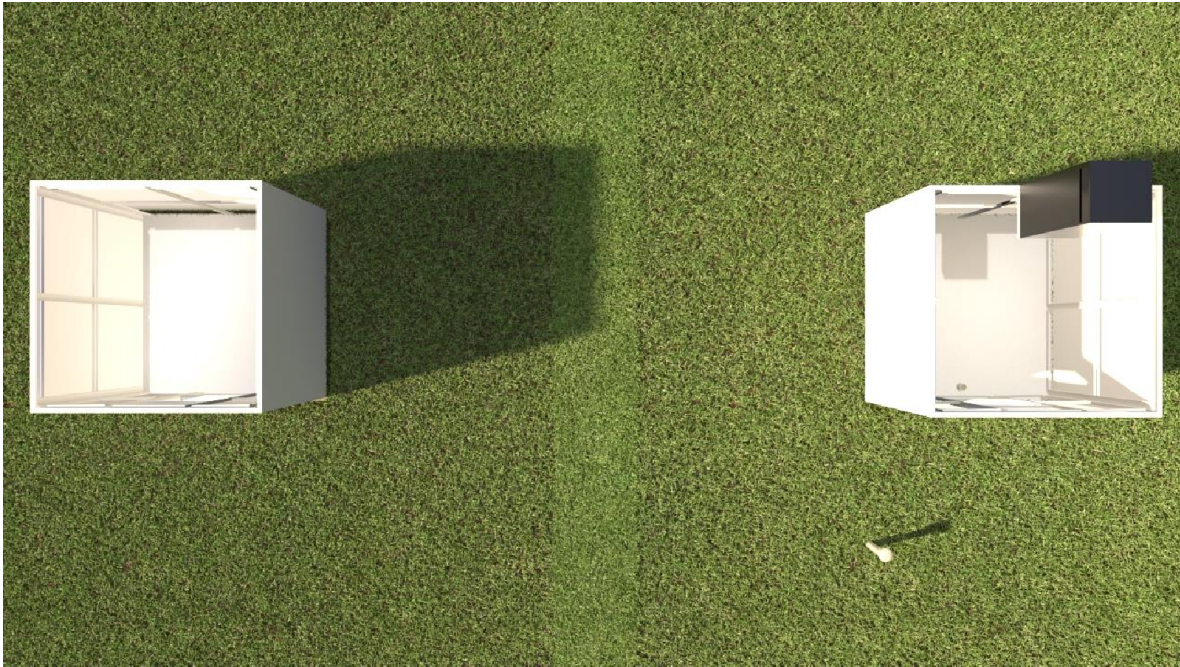


Ilustración 21.- Propuesta 3D en planta para los módulos de estudio. fuente: elaboración propia.



Ilustración 22.- Propuesta 3D en alzado/sección para los módulos de estudio. fuente: elaboración propia.

3.6.2 Selección de materiales

En este apartado se considera fundamental que los módulos de estudio; que sean de perfil prefabricado, y que estos, posean características para soportar las condiciones de intemperie durante el ciclo de medición, es decir, que soporten el efecto de la radiación solar, precipitación pluvial y ráfagas de viento.

3.6.3 Materiales para los módulos de estudio

El proceso de construcción de los módulos de estudio, se divide en las siguientes partes:

- Δ Orientación
- Δ Excavación manual
- Δ Tubos subterráneos, polivinilo de cloruro (PVC)
- Δ Chimenea solar, (lámina galvanizada, efecto instantáneo)
- Δ Instalación de módulos de estudio: estructura de material prefabricado y perfiles metálicos galvanizados y acabados.

3.6.4 Orientación

El primer paso para la ubicación de los módulos de estudio es su orientación, alzado norte con ayuda de una brújula digital por medio de un celular.

3.6.5 Excavación manual

El segundo paso para la construcción o colocación en específico el módulo experimental es excavar un área específica con orientación norte y remover el volumen de tierra del lugar de sitio de la experimentación, esté realizado con personal calificado para este trabajo con herramienta especializada por parte del INAH.

3.6.6 Serpentin de tubos subterráneos

Módulo experimental instalación de conductos enterrados (serpentin de tubos subterráneos) colocados en sistema radial estos dos tramos de PVC de 6.00 m de longitud y codos de PVC a 90° todo de Ø 2", este se modificaron con cortes adecuados para su uso, con pegamento especial para este material, situado a una profundidad de 1.50 m, pueden ser de distintos materiales, pero depende de sus distintas propiedades a elegir, por su resistencia a compresión, estanqueidad, conductividad y espesor, todos estos factores nos llevan a elegir la mejor opción (Tabla 8) para la instalación que deseamos para su utilización, este conducto enterrado tiene como función principal de entrada y salida de aire (intercambiador tierra-aire).

Además, tomemos en cuenta que: una reducción de temperatura del flujo de aire será mayor si se toman en cuenta lo siguiente: (Flores Larsen y Lesino, 2000; Gauthier et al., 1997; Mihalakakou et al., 1994).

- Δ Mayor sea el recorrido del aire dentro del tubo.
- Δ Menor sea el diámetro del tubo.
- Δ Menor sea la velocidad del aire dentro del tubo.
- Δ Mayor sea la diferencia de temperatura.

Material	Conductividad Térmica (W/mK)
PVC	0.17
Polipropileno	1.17
Cerámica	0.85-1.3
Tubo metálico galvanizado	50
Concreto pretensado	0.97-1.9

Tabla 8.- Propiedades térmicas de los suelos para el dimensionado y diseño del sistema subterráneo mejorando la eficiencia energética de sistemas geotérmicos en climatización geotérmicos en climatización. fuente: elaboración propia.

3.6.7 Módulos de estudio: estructura y acabados

La morfología para ambos módulos de estudio se basa en una estructura cuadrada con las siguientes dimensiones 1.13 m x 1.13 m y una altura total de 1.13 m, a paños exteriores, hechas de material Tablaroca de ½” Durock® (Tabla 9) están hechas de cemento Portland reforzadas con malla de fibra de vidrio interna y son ideales para uso en exteriores por su protección al fuego y resistencia a la humedad y a la intemperie, estas placas con medidas en el mercado de 1.22 m x 2.44 m se modifican con cortes adecuados a la medidas de los módulos de estudio, se tiene considerado un corte especial, para facilitar el acceso al interior de estos y a su vez este sirve para su ventilación (vano) en uno de sus laterales de 0.33 m x 0.50 m, y en un solo módulo en específico el módulo experimental, un corte adosada en la parte superior de 0.20 m x 0.20 m, este hueco servirá para la instalación de la chimenea solar, una vez montada la estructura de perfiles metálicos de estructuras de lámina galvanizada de calibre 20, la estructura de perfil de aluminio de 2”, que sirven para formar una estructura que sostenga la Tablaroca, se forran con placas de la Tablaroca usando tornillos autoroscables con rondana de 1”, así como láminas de poliestireno expandido de 0.05 m de espesor con medidas de 1.22 m x 2.44 m se modificaron con cortes adecuados a las medidas de ambos módulos, adosadas en las caras exteriores de estos módulos de estudio, este tipo de material posee características térmicas ideales para su aislamiento, para fijar las placas de poliestireno (unicel) se aplicó pegamento en base de silicón blanco especial para exteriores, la chimenea solar es de material lámina galvanizada, calibre 26 o 0.0179" con un espesor milimétrico de 0.45466, (Tabla 10) cuenta con dobleces específicos, estos se realizaron con herramienta calificada para el tipo de metal, con unas medidas de 0.21 m x 0.21 m y una altura total de 0.70 m, y cuenta con pegamento epóxico, esté para evitar alguna fuga de fluido de alguna de sus uniones, pintada en color negro mate, tanto en su interior como el exterior, su función es absorber la mayor parte de radiación solar directa (efecto instantáneo).

Propiedades del producto Durock	
Espesor	12.7mm (1/2")
Dimensiones	1.22m ancho por 2.44m largo
Peso por m ²	11.59 Kg/m ²
Resistencia a la flexión	52.7 kg/cm ²
Absorción de agua en 24 horas	15% de su peso
Incombustibilidad	aprobado
Propagación de flama	0
Generación de humo	0
Radio mínimo de flexión	1.83 m (6ft)
Congelamiento	0
Resistencia a la indentación	>87.88 kg/cm ²
Resistencia al corte por adhesión	>3.52 kg/cm ²
Resistencia a la extracción de clavos	>6.33 kg/cm ²
Resistente al moho	0
Bordes	Tiene orillas cuadradas en sus lados cortos, redondeadas y lisas en sus lados largos.

Tabla 9.- Elaboración propia a partir de especificaciones técnicas de fabricante y cortes. fuente: elaboración propia a partir de Durock, (2021).

Material	Conductividad Térmica W/mK	Densidad kg/m³
Aluminio	204	2700
Cobre	372.2	8900
Acero y Fierro	52.3	7800

Tabla 10.- Valores de conductividad y aislamiento térmico, fuente: elaboración propia a partir de NOM-020-ENER-2011.

3.7 Experimentación

Lo ideal sería tener mediciones locales a diferentes profundidades y que estos nos permitan conocer la temperatura del terreno a lo largo del año, así como su composición del suelo, esto no siempre es posible, por lo que se debe de aplicar criterios de métodos analíticos teóricos que nos aproxime a estos valores, simplificando el terreno y considerándolo homogéneo.

La chimenea solar y los tubos subterráneos pueden adoptar distintas formas de arquitectura para la función de climatización, esto depende de su localización geográfica. Aquí nos vamos a centrar en una en particular la chimenea metálica de efecto instantáneo es aquella en la que ganará más rápido energía y la transmite por conducción hacia el ducto y a la vez generando energía cinética en el aire que tendrá a subir verticalmente (Santamouris, 2007).

En esta configuración la chimenea solar propiamente se sitúa por encima del techo del módulo experimental. Evidentemente, tiene que estar orientada al sur para recibir la mayor cantidad de radiación solar posible, la lámina o placa absolvedora recubierta de pintura negra con una alta emisividad, según (Incropera, 1999).

El aire entra en el módulo experimental por una ventana y/o vano de 33 x 50 cm, esta abertura, no necesariamente tiene que estar en la fachada norte, también lo puede estar en las fachadas este y oeste, de todas formas, conviene que esté en la norte para que el flujo de aire en la que va desde la abertura a la entrada en la chimenea solar sea lo más cruzado posible.

Mientras tanto en los tubos subterráneos, como lo mencionado, la masa de suelo posee la capacidad de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente, es decir posee una gran inercia térmica, es decir, que el suelo es usado como acondicionador térmico en edificaciones.

Al conocer las propiedades del suelo, el sistema de tubos subterráneos se basa en un fenómeno físico por lo que el aire solo necesita unos instantes para atravesar los ductos (tubos subterráneos) y sale con una temperatura adecuada dependiendo de la época del año.

3.7.1 Periodo de estudio

El periodo de experimentación se definió para realizar dicha experimentación, se analizaron los registros de temperatura y humedad del municipio Colima, teniendo como referencia las normales climatológicas 1981-2010 del servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Con los datos históricos obtenidos de la estación, se analizaron y obtuvieron los registros, siendo el mes de **mayo** con el mayor registro de temperatura máxima mensual llegando hasta los 39.4°C, la estación de referencia 00006040 ubicada en el municipio de Colima, Dirección General de Estadística (GDE) con una latitud de 19°13'00" norte, longitud de 103°42'47" oeste y 500 M.S.N.M.

3.7.2 Instrumentos de medición

Se utilizaron diferentes instrumentos de medición, que nos permiten evaluar el comportamiento de los diferentes fenómenos físicos que intervienen en dicha experimentación en los módulos de estudio, tales como: la velocidad de aire y dirección de aire exterior, temperatura interior y exterior y humedad relativa.

Para medir las variables de estudio se utilizaron 3 equipos en su totalidad para su monitoreo: HOBO® Data Logger U12-012, y un anemómetro digital manual SEME PEAKMETER, (Tabla 11) este fue utilizado para medir la velocidad del viento del exterior de los módulos de estudio.

Equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Mediciones	Unidades
Anemómetro Digital	Semme Peakmeter	PM6252B	1	Velocidad del aire	m/s
Medidor Térmico (HOBO)	Onset	U12-012	3	Temperatura radiante Humedad relativa	°C %
Batería de respaldo	Duracell	v	3		w

Tabla 11.- Características de instrumentos de medición, fuente: elaboración propia.

3.7.3 HOBO® U12-012

Para medir las variables de temperatura al interior de los módulos, se utilizaron dos data logger tipo HOBO de la marca Onset Modelo U12-012 (Ilustración 23). El instrumento HOBO U12-012 es un registrador de temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa y cuenta con un canal externo al cual se puede conectar un sensor HOBO o de algún otro fabricante y puede registrar hasta 43,000 registros. Diseñado para interiores. Se programa y descarga su información a través de un puerto USB utilizando un ordenador y el programa HOBOWare (gratis) o su versión extendida HOBOWare Pro. La información registrada y guardada, para su posterior traspaso de datos a una base de datos en una hoja de cálculo de Excel.



HOBO Data Logger U12-012

Registro de temperatura: -20 [°C] a 70 [°C].

Precisión: ±0.35 [°C] de 0 [°C] a 50 [°C].

Resolución: 0.03 [°C].

Ilustración 23.- HOBO Data Logger modelo U12-012. fuente: www.onsetcomp.com visitada el 16 de agosto (2021).

3.7.4 Anemómetro unidireccional digital manual (SEMME PEAKMETER PM6252B)

El anemómetro es un instrumento que mide la velocidad del viento, así como el flujo volumétrico, consta principalmente de 3 elementos: la hélice, la base de medición portátil y pantalla LCD grande con sus funcionamientos. (Ilustración 24)

La información fue registrada mediante video grabación, ya que este modelo no guarda datos.



SEMME PEAKMETER PM6252B

m/s (metro sobre segundo): .80-30.00

Precisión: ± 2.0%

Resolución: 0.01m/s

Flujo de viento: (Área) 0 – 9.999 CMS

*Ilustración 24.- Anemómetro unidireccional digital manual
fuente: <https://manuals.plus/es/anemómetro/anemómetro-digital-manual>, visitada el 16 de agosto (2021).*

3.8 Calibración de instrumentos

Los HOBO'S se ponen a calibrar colocándolos a todos en una misma superficie y altura con una distancia equidistante entre ellos, estos se requieren de un mínimo de 24 horas para que los instrumentos tengan por lo menos 12 horas para estabilizarse y obtener lecturas confiables para tener un rango de comparación, se tomaron registros durante 96 horas.

Esta calibración se realizó en un cuarto en donde no exista alguna influencia externa de viento y/o de temperaturas que puedan influir de forma directa o parcial en la hora de registrar los datos a analizar. (Imagen 8)

La finalidad de está calibración de estos HOBO'S es conocer el rango de operación entre cada sensor. Los HOBO'S U12-012, para la temperatura y la humedad relativa, si existe un valor no mayor de $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$. tal como lo señala el manual de operación.



Imagen 8.- Calibración de HOBOS data logger U12-02. fuente elaboración propia.

Una vez terminada la calibración de los instrumentos, se extrajo la información por medio del software referido para tal fin.

Para la lectura de los datos de los dispositivos registrados para los sensores HOBOS U12-012 se utilizó el Hoboware un software de ONSET, la misma compañía de los instrumentos, este arroja los datos de manera gráfica y numérica.

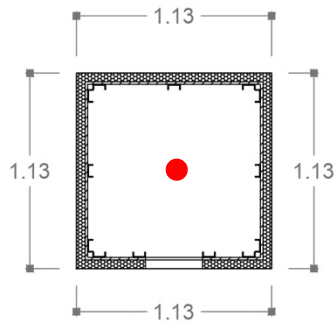
Posteriormente se extraen los datos en formato xlsx para su lectura en hojas de cálculo como el Excel de Microsoft.

3.8.1 Calibración de módulos

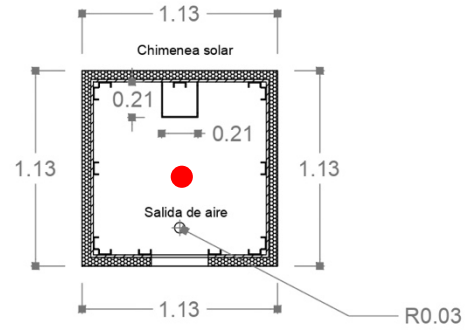
La calibración de los módulos se realizó para verificar que el comportamiento térmico sea similar entre cada uno de estos antes de la colocación de los dispositivos, que permita la comparación de los resultados futuros. Para validarlo se tomaron registros de Temperatura bulbo seco y Humedad relativa. Con los datos ya capturados, se obtuvieron líneas de tendencia a través de una regresión lineal de todas las muestras tomadas simultáneamente bajo las mismas condiciones para los módulos. Posterior a esto, se obtuvieron las ecuaciones de corrección para la variable y se tomó como referencia en todos los casos el instrumento que corresponde al módulo asignado para el testigo, y se hicieron correlaciones con los demás instrumentos, la configuración 1 se toma como referencia para esta calibración de los módulos de estudio.

3.8.2 Instalación de instrumentos

Los data logger **HOBO'S U12-012**, se colocaron al interior de los módulos de estudio: es decir módulo testigo y módulo experimental, a una distancia equidistante de los costados y entre el lado superior e inferior. (Imagen 9 y 10)



Módulo Testigo



Módulo Experimental

⊕
Entrada de aire
Tubo subterráneo



Imagen 9.- Planta y vista del interior. Instalación del HOBO U12-012 al interior del módulo testigo. fuente: elaboración propia.



Imagen 10.- Planta y vista del interior. Instalación del HOBO U12-012 al interior del módulo experimental. fuente: elaboración propia.

Para la micro estación, se instaló dentro de un diámetro equidistante sobre el área experimental y se sujetó con cintillos de plástico sobre un poste de cableado, el cual se encuentra a una distancia de 29.75 m del primer módulo y a una altura de 3.00 m a N.P.T., (Imagen 11) el cual se construyó un abrigo de poliestireno (platos desechables) ya que los instrumentos de medición no son contra el agua y al mismo tiempo por su configuración generan sombras y permite el flujo del viento, estos a la vez sirven para evitar alteraciones en los registros de temperatura por la radiación solar directa que esta pueda alterar a la hora de los resultados finales.



Imagen 9.- Vista de ubicación e instalación de HOBO U12-012 en área experimental. fuente: elaboración propia.

El anemómetro digital manual, se utilizó en diferentes horarios durante el día, se especificará más adelante, dicho previamente por todo el periodo experimental, para registrar la información requerida colocándolo en la superficie del módulo experimental durante 10 minutos de grabación con un celular para obtener los registros requeridos. (Imagen 12)



Imagen 10.- Vista de uso del anemómetro digital manual al exterior del área experimental. fuente: elaboración propia.

3.8.3 Configuración de Experimentación

Una vez analizadas y obtenido los datos de la estación de **CONAGUA**, siendo el mes de **mayo** con el mayor registro de temperatura máxima y normal mensual, (Tabla 12) para dicha experimentación es la idónea por su mayor factor de temperatura y radiación solar ante la chimenea solar para el aprovechamiento del intercambio de aire al interior de temperaturas y el sistema de intercambio de tierra-aire por medio de los tubos subterráneos, ambos sistemas pasivos para así aprovechar de los recursos naturales renovables como lo son el aire y el sol.

	TEMPERATURAS PROMEDIO (°C), COLIMA, COLIMA (GDE)											
	MESES											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
TEMPERATURA MÁXIMA NORMAL	31.8	32.6	33.2	34.5	35.2	34.4	33.1	32.9	32.1	32.5	33.1	32.2
TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL	33.9	36	36.4	37.8	39.4	37.7	36.2	36.7	35.5	35.5	34.9	34.4
TEMPERATURA MÍNIMA NORMAL	15.6	15.4	15.7	17	19.2	21.5	21.3	21.1	21.1	20.3	18.3	16.1
TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL	12.9	12.5	12.5	14.8	15.1	18.7	19.4	19.2	19.2	18.2	16.1	14.3

Tabla 12.- Temperaturas promedio, Colima, Colima (GDE). fuente: elaboración propia a partir de normales climatológicas periodo 1981-2010 (CONAGUA).

Se establecieron **5 configuraciones** para el proceso de la experimentación, 5 días cada una de ellas.

- **Configuración 1:** ambos módulos (testigo y experimental) totalmente sellados (vanos), incluyendo los sistemas pasivos, es decir; tubo subterráneo y chimenea solar.
- **Configuración 2:** se abren ambos módulos (vanos), mientras el módulo experimental se abre un sistema, el de tubos subterráneos, pero se deja sellado el sistema de la chimenea solar.
- **Configuración 3:** ambos módulos abiertos de sus vanos, mientras el módulo experimental, se cierra el sistema de tubo subterráneo y se abre el sistema de la chimenea solar.



- **Configuración 4:** ambos módulos abiertos de sus vanos, mientras tanto el módulo experimental, se abren ambos sistemas; es decir tubos subterráneos y chimenea solar.
- **Configuración 5:** módulo testigo, abierto de su vano, mientras el módulo experimental, se cierra el vano y ambos sistemas abiertos; es decir tubos subterráneos y chimenea solar.

Se registraron datos durante 25 días por cada 24 horas con intervalos de registro de una hora para la temperatura y humedad relativa.

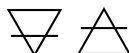
El anemómetro digital manual por su limitación a que no guarda registro alguno, sino que este arroja datos en el instante durante su uso, se establecieron 4 horarios distintos durante el día, estos son: 8:00 h, 12:00 h, 16:00 h y 20:00 h, estos mismos fungieron durante todo el proceso de experimentación, durante 10 minutos de grabación y guardar los datos obtenidos por medio de un celular, así mismo observar el comportamiento del flujo del aire en el área de experimentación.

La información obtenida por cada instrumento durante el periodo experimental se representa de la siguiente manera:

Δ **Temperatura en °C**

Δ **Humedad relativa en %**

Δ **Velocidad el aire en m/s**



3.8.4 Control

Una vez definida nuestra estrategia durante el periodo de estudio en la temporada de mayor índice de temperatura registrada en el Estado de Colima, en los últimos años se han desarrollado modelos adaptativos y se han verificado en numerosos lugares del mundo, pero aún hace falta diversos sitios a evaluar bajo este enfoque de un ambiente confortable, como lo demuestran los diversos trabajos de Auliciems y Szokalay (1997) y Brager (1998), cuya característica es que se enfoque de manera clara y concisa hacia el diseño arquitectónico, con los resultados obtenidos se obtuvieron modelos de aplicación generalizada, estos basados en la temperatura operativa de confort en función con la temperatura del exterior promedio, a esto se determinó el rango de confort térmico, basados en la ecuación para nuestro caso de estudio. (Tabla 13)

Según Nicol (1993) es el que tomaremos como referencia para este estudio, plantea que el rango de confort térmico depende de la adaptación que tienen las personas en su medio ambiente, es decir en cuanto mayor sea el periodo, más fácilmente podrá asimilar el cambio sin que se reduzca significativamente la sensación térmica de confort, el cual indica ± 2 de amplitud aceptable de variación.

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	0.38
Brager-De Dear (1998)	17.8	0.31
Humphreys-Nicol (2000)	13.3	0.54

Tabla 13.- Valores de *b* y *m* para la construcción de modelos térmicos. fuente: elaboración propia.

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

En donde:

T_n = Temperatura de neutralidad o de confort

b = Punto donde la recta de regresión corta el eje de las coordenadas

m = Pendiente de la recta de regresión

T_{em} = Temperatura exterior promedio

Una vez determinados los T_n y T_{em} se usaron estos rangos de amplitud para determinar el límite inferior y el límite superior de temperatura de confort para una zona cálida subhúmeda como lo es el Estado de Colima y se obtuvieron los siguientes valores. (Tabla 14)

RANGO DE CONFORT TÉRMICO		
TEMPORADA	LÍMITE INFERIOR TEMPERATURA DE CONFORT	LÍMITE SUPERIOR TEMPERATURA DE CONFORT
CALIDA SUBHÚMEDA	24.3°C	29.3°C

Tabla 14.- Rango de confort térmico en clima cálido subhúmedo. A partir de Nicol (1993). fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV

4.1 Resultados obtenidos y análisis

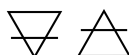
Se presentan los resultados obtenidos de la fase experimental que se realizó durante la temporada de primavera (**mayo**) dentro de los módulos de estudio y la micro estación, tanto de la temperatura (°C) así como la humedad relativa (%), la velocidad del aire (m/s).

Durante el proceso experimental, se recabaron aproximadamente 1,080 datos por cada sensor, esto nos arroja un **total de 3,240 datos** obtenidos durante los **25 días** de experimentación, durante **5 días** por cada etapa experimental. Esta información fue procesada por medio de tablas y gráficas en el software de Excel.

La información que se obtuvo durante el periodo experimental por cada sensor fue de la siguiente forma: (Ilustración 25)

										CALIBRACIÓN											
Hobo 1 Módulo Testigo			Hobo 2 Módulo Experimental			Hobo 4 Microestación			Hobo 1			Hobo 2 (referencia)			Hobo 4						
Fecha Tiempo, GMT-05:00	Temp, °C	(LGI HR, % (LGR S/I Pt rocío, °C (Ll	Fecha Tiempo, GMT-05:00	Temp, °C	(LGI HR, % (LGR S/I Pt rocío, °C (Ll	Fecha Tiempo, GMT-05:00	Temp, °C	(LGI HR, % (LGR S/I Pt rocío, °C (Ll	Temp, °C	HR, %	Ptrocío, °C	Temp, °C	HR, %	Ptrocío, °C	Temp, °C	HR, %	Ptrocío, °C				
04/24/22 06:00:00 AM	28.147	45.549	15.636	04/24/22 06:00:00 AM	27.998	46.084	15.883	04/24/22 06:00:00 AM	27.85	47.85	16.131	-0.149	0.535	0.047	0.148	-1.766	-0.448				
04/24/22 07:00:00 AM	27.628	45.096	15.011	04/24/22 07:00:00 AM	27.481	45.599	15.048	04/24/22 07:00:00 AM	27.308	47.491	15.52	-0.147	0.503	0.037	0.173	-1.802	-0.472				
04/24/22 08:00:00 AM	27.161	44.748	14.467	04/24/22 08:00:00 AM	27.014	45.251	14.506	04/24/22 08:00:00 AM	26.818	47.204	14.978	-0.147	0.503	0.039	0.196	-1.953	-0.472				
04/24/22 09:00:00 AM	26.769	46.681	14.762	04/24/22 09:00:00 AM	26.671	47.024	14.785	04/24/22 09:00:00 AM	26.402	49.083	15.198	-0.098	0.343	0.023	0.269	-2.059	-0.413				
04/24/22 10:00:00 AM	26.573	46.915	14.66	04/24/22 10:00:00 AM	26.426	47.349	14.668	04/24/22 10:00:00 AM	26.182	49.375	15.087	-0.147	0.434	0.008	0.244	-2.026	-0.419				
04/24/22 11:00:00 AM	26.846	46.666	14.645	04/24/22 11:00:00 AM	26.524	47.038	14.656	04/24/22 11:00:00 AM	26.256	49.128	15.077	-0.122	0.372	0.011	0.358	-2.09	-0.421				
04/24/22 12:00:00 PM	27.038	45.546	14.628	04/24/22 12:00:00 PM	26.916	45.954	14.654	04/24/22 12:00:00 PM	26.793	47.717	15.122	-0.122	0.408	0.036	0.223	-1.763	-0.468				
04/24/22 01:00:00 PM	27.85	43.138	14.521	04/24/22 01:00:00 PM	27.801	43.417	14.58	04/24/22 01:00:00 PM	27.776	45.211	15.184	-0.040	0.289	0.039	0.035	-1.794	-0.504				
04/24/22 02:00:00 PM	29.24	41.14	15.037	04/24/22 02:00:00 PM	29.19	41.532	15.14	04/24/22 02:00:00 PM	29.215	43.283	15.408	-0.05	0.392	0.103	-0.025	-1.751	-0.658				
04/24/22 03:00:00 PM	30.722	40.735	16.21	04/24/22 03:00:00 PM	30.672	41.029	16.278	04/24/22 03:00:00 PM	30.697	42.889	17.001	-0.05	0.294	0.069	-0.025	-1.86	-0.723				
04/24/22 04:00:00 PM	32.227	39.188	16.939	04/24/22 04:00:00 PM	32.227	39.457	17.048	04/24/22 04:00:00 PM	32.253	41.433	17.85	0	0.269	0.109	-0.026	-1.976	-0.802				
04/24/22 05:00:00 PM	32.846	38.579	17.239	04/24/22 05:00:00 PM	32.82	38.98	17.382	04/24/22 05:00:00 PM	32.846	40.929	18.186	-0.026	0.401	0.143	-0.026	-1.949	-0.804				
04/24/22 06:00:00 PM	33.183	38.95	17.692	04/24/22 06:00:00 PM	33.183	38.681	17.58	04/24/22 06:00:00 PM	33.261	40.571	18.416	0	-0.269	-0.112	-0.078	-1.89	-0.836				
04/24/22 07:00:00 PM	33.339	40.378	18.409	04/24/22 07:00:00 PM	33.339	39.975	18.248	04/24/22 07:00:00 PM	33.469	41.096	18.809	0	-0.403	-0.161	-0.13	-1.121	-0.561				
04/24/22 08:00:00 PM	33.235	41.573	18.785	04/24/22 08:00:00 PM	33.235	41.038	18.576	04/24/22 08:00:00 PM	33.339	42.152	19.101	0	-0.535	-0.209	-0.104	-1.114	-0.525				
04/24/22 09:00:00 PM	32.924	42.274	18.774	04/24/22 09:00:00 PM	32.924	41.806	18.595	04/24/22 09:00:00 PM	33.001	43.381	19.259	0	-0.468	-0.179	-0.077	-1.575	-0.654				
04/24/22 10:00:00 PM	32.458	42.788	18.549	04/24/22 10:00:00 PM	32.458	42.721	18.524	04/24/22 10:00:00 PM	32.51	44.419	19.195	0	-0.067	-0.025	-0.052	-1.698	-0.677				
04/24/22 11:00:00 PM	31.868	43.352	18.226	04/24/22 11:00:00 PM	31.842	43.416	18.227	04/24/22 11:00:00 PM	31.868	45.203	18.893	-0.026	0.064	0.001	-0.026	-1.787	-0.666				
04/25/22 12:00:00 AM	31.23	44.205	17.96	04/25/22 12:00:00 AM	31.204	44.466	18.031	04/25/22 12:00:00 AM	31.204	46.045	18.585	-0.026	0.261	0.071	0	-1.579	-0.558				
04/25/22 01:00:00 AM	30.621	45.319	17.804	04/25/22 01:00:00 AM	30.571	45.707	17.893	04/25/22 01:00:00 AM	30.52	47.206	18.357	-0.05	0.388	0.089	0.051	-1.499	-0.464				
04/25/22 02:00:00 AM	30.016	46.557	17.679	04/25/22 02:00:00 AM	29.941	46.939	17.74	04/25/22 02:00:00 AM	29.865	48.492	18.184	-0.075	0.382	0.061	0.076	-1.553	-0.444				
04/25/22 03:00:00 AM	29.414	47.656	17.498	04/25/22 03:00:00 AM	29.34	48.101	17.575	04/25/22 03:00:00 AM	29.265	49.677	18.013	-0.074	0.445	0.077	0.095	-1.576	-0.438				
04/25/22 04:00:00 AM	28.866	47.912	17.08	04/25/22 04:00:00 AM	28.766	48.288	17.112	04/25/22 04:00:00 AM	28.667	49.89	17.531	-0.1	0.376	0.032	0.099	-1.602	-0.419				
04/25/22 05:00:00 AM	28.345	47.134	16.349	04/25/22 05:00:00 AM	28.221	47.572	16.38	04/25/22 05:00:00 AM	28.097	49.204	16.792	-0.124	0.438	0.031	0.124	-1.632	-0.412				
04/25/22 06:00:00 AM	27.801	46.613	15.68	04/25/22 06:00:00 AM	27.677	47.051	15.713	04/25/22 06:00:00 AM	27.554	48.813	16.17	-0.124	0.438	0.033	0.123	-1.762	-0.457				
04/25/22 07:00:00 AM	27.333	46.62	15.256	04/25/22 07:00:00 AM	27.186	47.088	15.276	04/25/22 07:00:00 AM	27.038	48.908	15.726	-0.147	0.468	0.02	0.148	-1.92	-0.48				

Ilustración 25.- Ejemplo de información obtenida por cada sensor, Fuente: elaboración propia.



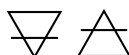
4.2 Discusión de resultados

De manera de ejemplo se muestra una tabla en la ilustración 26, se presentan las diferencias de temperatura máximas y mínimas de los módulos de estudio, es decir; módulo testigo y módulo experimental, así como la micro estación, registradas por cada día y hora durante toda la temporada de experimentación, en la primera columna se muestra fecha y hora correspondiente a cada valor registrado, posteriormente se muestra la temperatura en °C y al final la columna de humedad relativa %.

Hobo 1 Módulo Testigo			Hobo 2 Módulo Experimental			Hobo 4 Microestación		
Fecha Tiempo, GMT-05:01	Temp, °C (LGF HR, % (LGR S/)		Fecha Tiempo, GMT-05:00	Temp, °C (LGF HR, % (LGR S/)		Fecha Tiempo, GMT-05:0	Temp, °C (LGF HR, % (LGR S/)	
04/24/22 06:00:00 AM	28.147	45.549	04/24/22 06:00:00 AM	27.998	46.084	04/24/22 06:00:00 AM	27.85	47.85
04/24/22 07:00:00 AM	27.628	45.096	04/24/22 07:00:00 AM	27.481	45.599	04/24/22 07:00:00 AM	27.308	47.491
04/24/22 08:00:00 AM	27.161	44.748	04/24/22 08:00:00 AM	27.014	45.251	04/24/22 08:00:00 AM	26.818	47.204
04/24/22 09:00:00 AM	26.769	46.681	04/24/22 09:00:00 AM	26.671	47.024	04/24/22 09:00:00 AM	26.402	49.083
04/24/22 10:00:00 AM	26.573	46.915	04/24/22 10:00:00 AM	26.426	47.349	04/24/22 10:00:00 AM	26.182	49.375
04/24/22 11:00:00 AM	26.646	46.666	04/24/22 11:00:00 AM	26.524	47.038	04/24/22 11:00:00 AM	26.256	49.128
04/24/22 12:00:00 PM	27.038	45.546	04/24/22 12:00:00 PM	26.916	45.954	04/24/22 12:00:00 PM	26.793	47.717
04/24/22 01:00:00 PM	27.85	43.128	04/24/22 01:00:00 PM	27.801	43.417	04/24/22 01:00:00 PM	27.776	45.211
04/24/22 02:00:00 PM	29.24	41.14	04/24/22 02:00:00 PM	29.19	41.532	04/24/22 02:00:00 PM	29.215	43.283
04/24/22 03:00:00 PM	30.722	40.735	04/24/22 03:00:00 PM	30.672	41.029	04/24/22 03:00:00 PM	30.697	42.889
04/24/22 04:00:00 PM	32.227	39.188	04/24/22 04:00:00 PM	32.227	39.457	04/24/22 04:00:00 PM	32.253	41.433
04/24/22 05:00:00 PM	32.846	38.579	04/24/22 05:00:00 PM	32.82	38.98	04/24/22 05:00:00 PM	32.846	40.929
04/24/22 06:00:00 PM	33.183	38.95	04/24/22 06:00:00 PM	33.183	38.681	04/24/22 06:00:00 PM	33.261	40.571
04/24/22 07:00:00 PM	33.339	40.378	04/24/22 07:00:00 PM	33.339	39.975	04/24/22 07:00:00 PM	33.469	41.096
04/24/22 08:00:00 PM	33.235	41.573	04/24/22 08:00:00 PM	33.235	41.038	04/24/22 08:00:00 PM	33.339	42.152
04/24/22 09:00:00 PM	32.924	42.274	04/24/22 09:00:00 PM	32.924	41.806	04/24/22 09:00:00 PM	33.001	43.381
04/24/22 10:00:00 PM	32.458	42.788	04/24/22 10:00:00 PM	32.458	42.721	04/24/22 10:00:00 PM	32.51	44.419
04/24/22 11:00:00 PM	31.868	43.352	04/24/22 11:00:00 PM	31.842	43.416	04/24/22 11:00:00 PM	31.868	45.203
04/25/22 12:00:00 AM	31.23	44.205	04/25/22 12:00:00 AM	31.204	44.466	04/25/22 12:00:00 AM	31.204	46.045
04/25/22 01:00:00 AM	30.621	45.319	04/25/22 01:00:00 AM	30.571	45.707	04/25/22 01:00:00 AM	30.52	47.206
04/25/22 02:00:00 AM	30.016	46.557	04/25/22 02:00:00 AM	29.941	46.939	04/25/22 02:00:00 AM	29.865	48.492
04/25/22 03:00:00 AM	29.414	47.656	04/25/22 03:00:00 AM	29.34	48.101	04/25/22 03:00:00 AM	29.265	49.677
04/25/22 04:00:00 AM	28.866	47.912	04/25/22 04:00:00 AM	28.766	48.288	04/25/22 04:00:00 AM	28.667	49.89
04/25/22 05:00:00 AM	28.345	47.134	04/25/22 05:00:00 AM	28.221	47.572	04/25/22 05:00:00 AM	28.097	49.204
04/25/22 06:00:00 AM	27.801	46.613	04/25/22 06:00:00 AM	27.677	47.051	04/25/22 06:00:00 AM	27.554	48.813
04/25/22 07:00:00 AM	27.333	46.62	04/25/22 07:00:00 AM	27.186	47.088	04/25/22 07:00:00 AM	27.038	48.908

Ilustración 26.- Ejemplo de información por hora. Fuente: elaboración propia.

Los resultados se estarán presentando en graficas de tipo **lineal** y de **dispersión** en ellas se estarán mostrando el comportamiento que se tienen en cada módulo de estudio; es decir para el módulo testigo, módulo experimental, así como para la micro estación, según las condicionantes que se esté analizando en ese momento, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento. Para dicha representación gráfica y para una fácil comprensión, se asignó un color diferente a cada módulo, esto para aportar una mejor interpretación sobre los resultados obtenidos; el patrón de colores que se utilizó es de la siguiente manera: (Ilustración 27)



- Δ Módulo Testigo: Línea sólida en rosa.
- Δ Módulo Experimental: Línea sólida verde.
- Δ Micro estación: Línea sólida en azul.

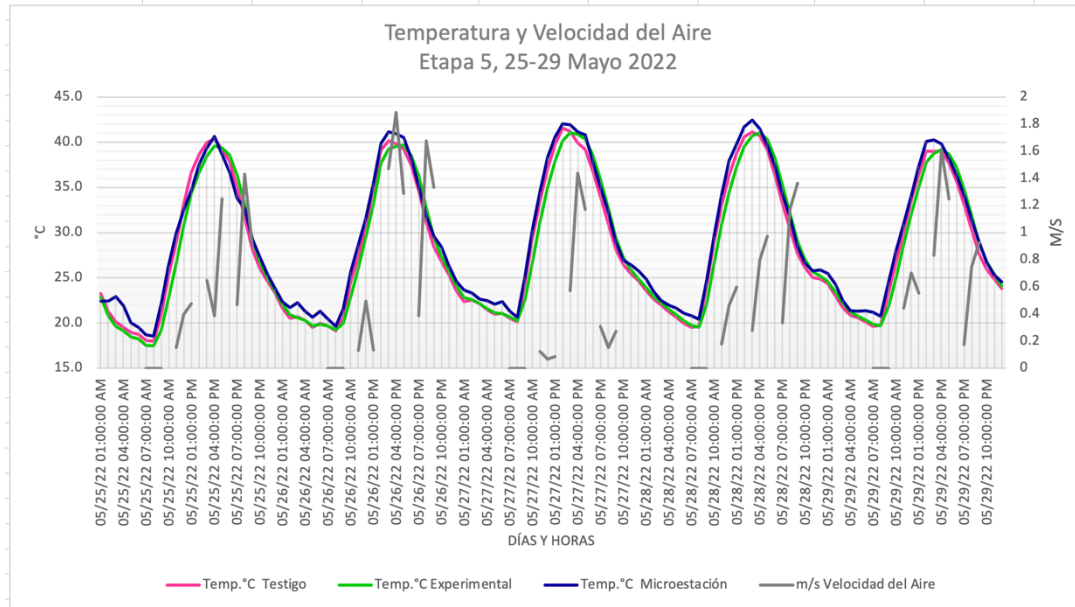


Ilustración 27.- Ejemplo de gráficas. Fuente: elaboracion propia.

Una vez ya realizado el proceso de capturas de datos de los 25 días de experimentación, la cantidad exacta de datos presentados durante el proceso de experimentación, hora, día de la semana fue de 120 datos por cada sensor, esto con el objetivo de ir analizando el comportamiento que se presentaba en cada módulo, tanto al interior como al exterior.

En la gráfica siguiente 28 agrupadas por cada grupo a desarrollar, es decir; temperatura, humedad relativa horarias correspondientes de cada sensor durante las 5 semanas experimentales en el podemos observar que a mayor temperatura menor humedad y de manera inversa a mayor humedad menor temperatura.



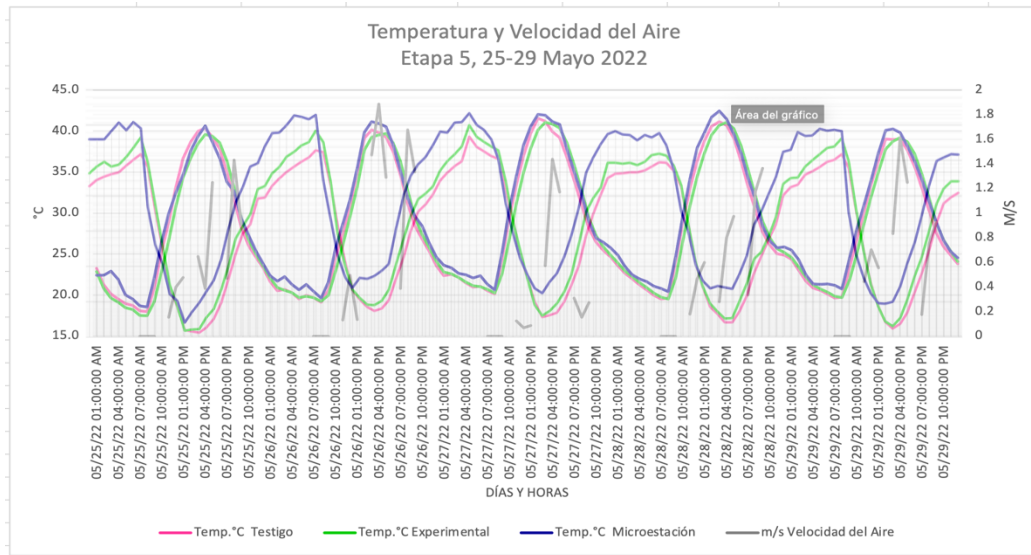


Ilustración 28.- Ejemplo de gráfica por etapa de módulo testigo, experimental y microestación. Fuente: elaboración propia.

Una vez analizadas las gráficas por separado de cada módulo por semanas de cada sensor, en el ejemplo de la gráfica antes mencionada se observa un comportamiento simétrico en relación a las temperaturas entre los sensores, con una diferencia aproximada de 2°C, con respecto a las humedades relativas se aprecia un pequeño desfase con el sensor de la micro estación, pero dentro de los otros dos sensores es decir; el módulo testigo y el módulo experimental se aprecia una diferencia de aproximadamente de 6% entre módulos.

Subsiguiente a realizar la representación gráfica de cada sensor, para la variante de temperatura, tanto como la de humedad relativa, se realizó la intersección de datos por cada sensor, esto con el objetivo de relacionar los datos y poder tener un comparativo gráfico entre temperatura vs temperatura y humedad relativa vs humedad relativa, revisando el ejemplo de la siguiente ilustración 29, comparativo interno entre módulo testigo (línea sólida rosa), módulo experimental (línea sólida verde) y la micro estación (línea sólida azul), existe un rango de diferencia entre los 0.00 °C y 1.6 °C, estos valores se puedes observar directamente en la gráfica, donde se muestra en una de las etapas que el módulo experimental se mantiene por debajo los 5 días de la experimentación de esta etapa que esta de ejemplo ilustrativo y a lo largo se realizaron más gráficas correspondientes a las demás etapas de toda la experimentación.

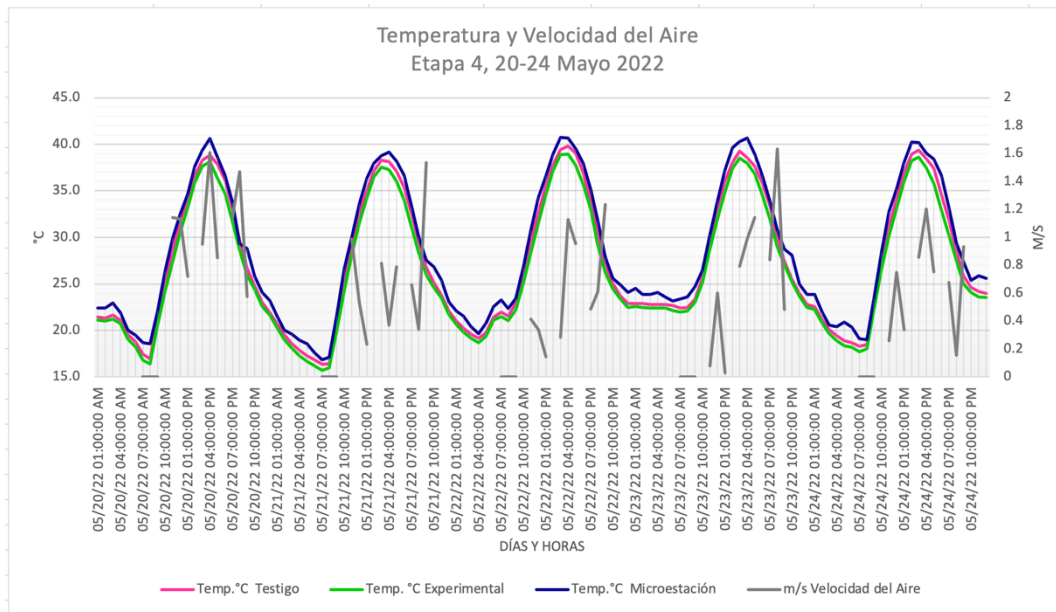


Ilustración 29.- Ejemplo de comparativo gráfico lineal de temperatura. Fuente: elaboración propia.

De la misma manera de ejecución se realizó y de manera de ejemplo ilustrativo se muestra en la siguiente ilustración 30, para la humedad relativa entre el comparativo interno módulo testigo (línea sólida rosa), módulo experimental (línea sólida verde) y la micro estación (línea sólida azul), existe un rango de diferencia entre los como valor mínimo 0.00 % y un 10% como rango máximo.

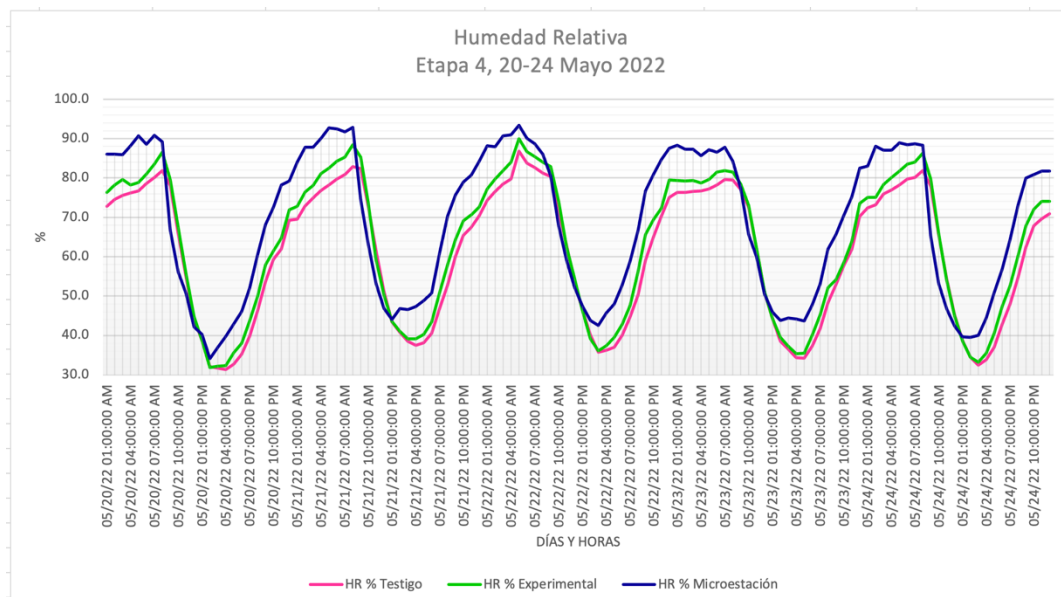
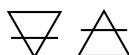


Ilustración 30.- Ejemplo de comparativo gráfico lineal de humedad relativa. Fuente: elaboración propia.



A continuación, se muestra de manera de ejemplo, dentro de las mismas gráficas realizadas se ingresa una **línea de tendencia**, está nos muestra que hay algo que aumenta o disminuye a un ritmo constante. Que para nuestro caso nos indica como está funcionando el sistema pasivo mixto de ventilación en sus diferentes etapas, entre el comparativo interno módulo testigo (línea punteada rosa), módulo experimental (línea punteada verde). (Ilustración 31)

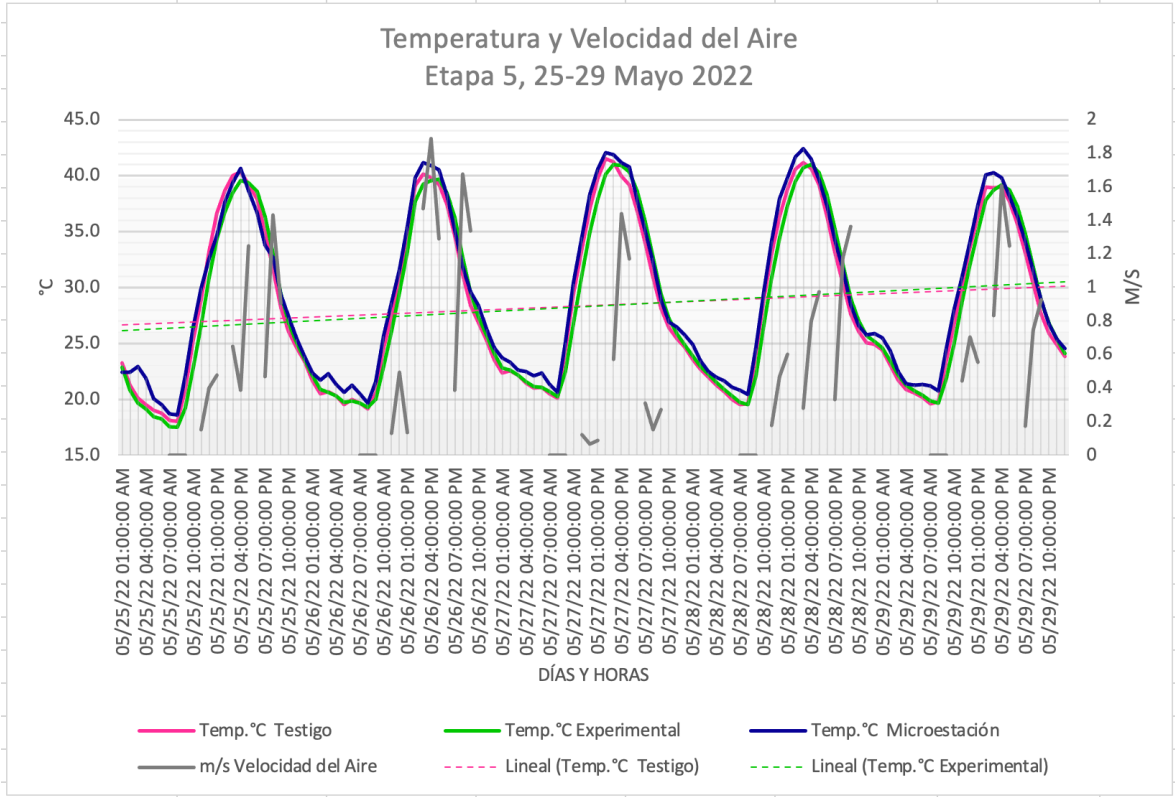
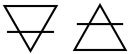


Ilustración 31.- Ejemplo línea de tendencia. Fuente: elaboración propia.

Comparativa de módulo experimental respecto al módulo testigo, en **día representativo**, llevando las mismas características graficas de los ejemplos anteriores, se presenta solo en el caso de la etapa 4 y 5 que específicamente hablan de nuestro tema a desarrollar, implementación de estrategia mixta de ventilación, se muestra los valores totales representativos en °C para la temperatura y en % para la humedad relativa, durante las 24



horas del día, se aprecia como el módulo testigo, módulo experimental y micro estación. (Ilustración 32) esto nos lleva a una idea mucho más clara y precisa del funcionamiento de los sistemas pasivos mixtos, como observamos en este ejemplo el rango de temperatura de menor rango es el módulo experimental a comparación del módulo testigo.

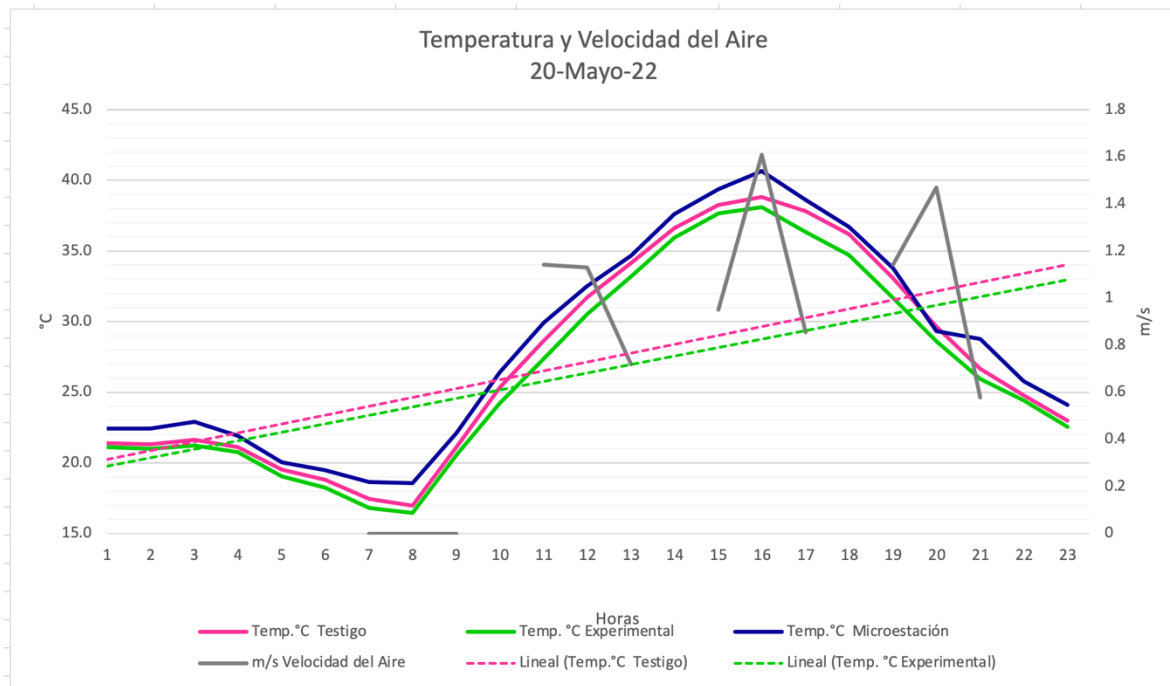


Ilustración 32.- Ejemplo de día representativo, Fuente: elaboración propia.

Así mismo dentro del paquete de Excel se realizó un análisis estadístico con la herramienta **t student**, éste se utiliza para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de dos o más grupos, en otras palabras, lo que busca es que haya una relación entre dos variables de manera líneas entre **muestras relacionadas**. Que definiremos el nivel de significancia que se establece en **ciencias formales** normalmente es de 0.05, (Juárez, Villatoro & López, 2011) este puede variar en la regla de decisiones a 0.01 y 0.001 si se requiere mayor certeza en la prueba de hipótesis. (Ilustración 33)

Donde:



H₀: No hay diferencia en el nivel de aceptación entre los registros de inicio y el registro al finalizar cada configuración. ($X_1 = X_2$)

Regla de decisión: Sí $p \leq 0.05$ (igual o menor) se rechaza H₀.

Sí $p \geq 0.05$ (mayor) se acepta H₀.

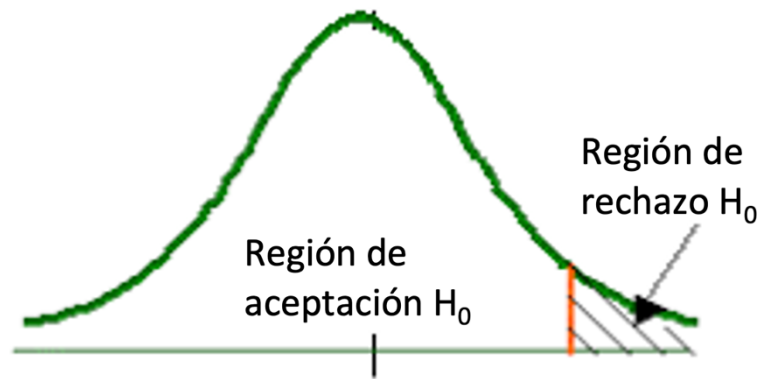


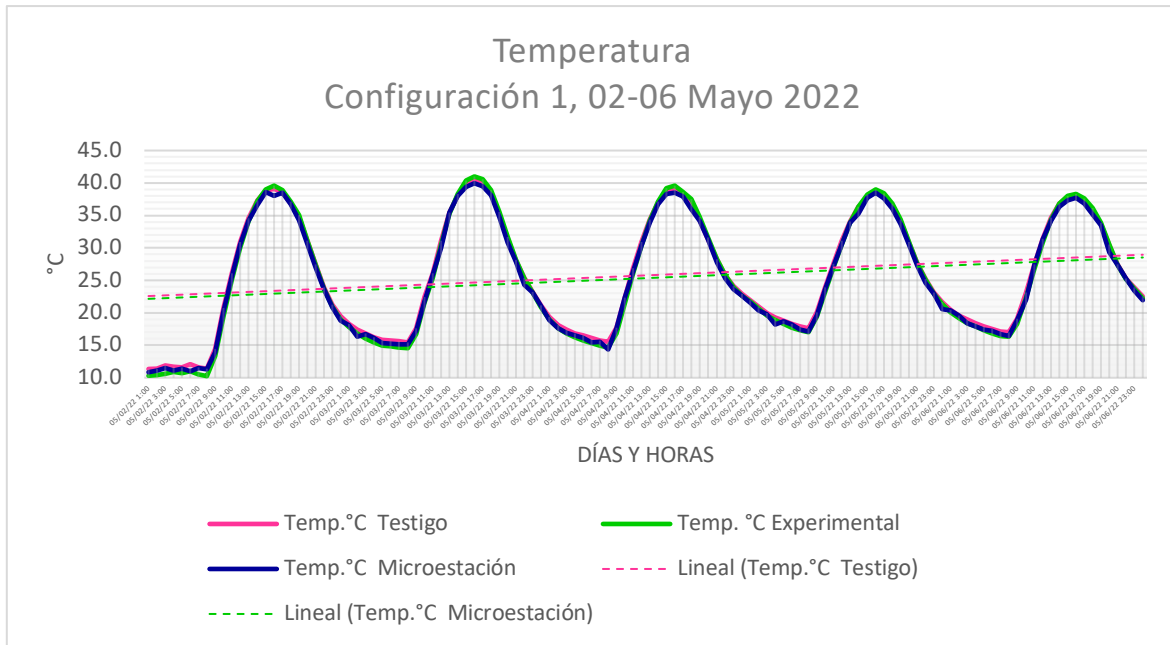
Ilustración 33.- Ejemplo de prueba t para muestras relacionadas. Fuente: (GOOGLE, 2022)

4.3 Configuración 1

Una vez definidas el proceso de experimentación de cada una de las configuraciones, esta configuración se maniobra los módulos de la siguiente manera: ambos módulos es decir módulo testigo y módulo experimental, están totalmente sellados por sus vanos, es decir entradas y/o salidas, así como los sistemas pasivos tanto la chimenea solar y tubos subterráneos.

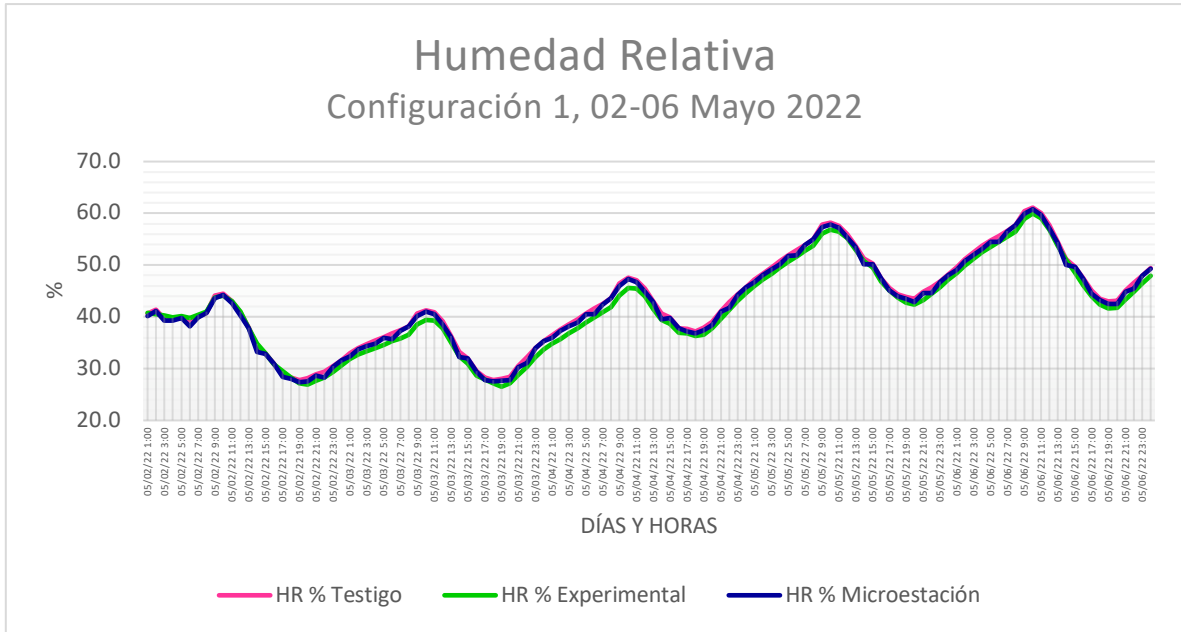


Imagen 11.- Configuración 1, vista frontal, fuente: elaboración propia.



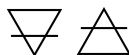
Gráfica 1.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas, configuración 1 del 2 al 6 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

En la gráfica 1, se visualiza las diferentes temperaturas por hora durante los 5 días de experimentación, donde se muestran los comportamientos de las diferentes temperaturas de los módulos, estos se muestran muy similares en sus comportamientos y no se observaron cambios abruptos de temperatura entre módulo testigo, módulo experimental y micro estación, con una temperatura mínima del día 03 a las 8:00 h se obtuvo para el módulo experimental 14.5 °C, mientras en el módulo testigo fue de 15.4 °C, teniendo 0.9 °C mayor confort hacia su interior en el módulo experimental, respecto a la micro estación fue de 15.1 °C.



Gráfica 2.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 1 del 2 al 6 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

En la gráfica 2, se visualiza la diferente humedad relativa por hora durante los 5 días de experimentación, donde se muestran los comportamientos de la diferente humedad relativa de los módulos, estos muestran que se obtuvieron el mayor rango de humedad fue del día 06 a las 10:00 h, siendo que el módulo testigo registro con 61.1 HR mientras que el módulo experimental fue de 60.0 HR, obteniendo 1.1 menor de HR en el módulo experimental y dentro de la micro estación fue de 60.8 HR.



Prueba t en temperatura

Configuración 1	Temp. °C Testigo	Temp. °C Experimental
Media	25.76521667	25.44734167
Varianza	76.7825432	84.35337555
Observaciones	120	120
Coeficiente de correlación de Pearson	0.999609587	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	7.09618972	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	9.99869E-11	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

Tabla 15.- Comparación del nivel de aceptación t student entre las mediciones de temperatura configuración 1, fuente: elaboración propia.

Prueba t en humedad relativa

Configuración 1	HR % Testigo	HR % Experimental
Media	42.69684167	41.63053333
Varianza	73.3559944	72.20654459
Observaciones	120	120
Coeficiente de correlación de Pearson	0.997412459	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	18.91955104	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	1.12289E-37	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

Tabla 16.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones de humedad relativa configuración 1, fuente: elaboración propia.

En las tablas N°15 y N°16, se observa en la comparación con la prueba t student, no se obtuvo un valor significativo entre la configuración 1, durante el proceso de medición de inicio y la medición al finalizar, no tuvo el efecto requerido.



4.4 Configuración 2

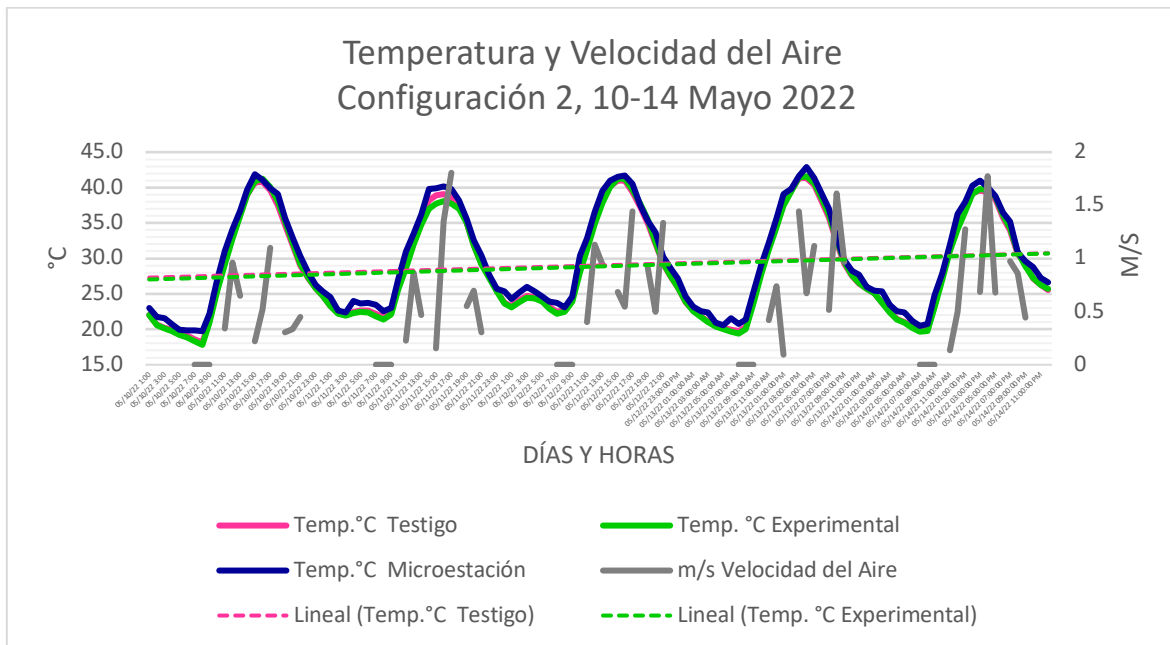
Esta configuración se maniobra los módulos de la siguiente manera: se abren los vanos de ambos módulos, mientras que el módulo experimental se abre un sistema pasivo (tubos subterráneos) y mientras tanto se queda obstruido el sistema de la chimenea solar.

A partir de esta configuración es cuando se implementa el registro con el anemómetro digital manual, ya que en la configuración anterior ambos módulos sellados por sus vanos obstruidos de sus sistemas pasivos no se iba a obtener algún dato relevante por su obstrucción del aire en el interior de los módulos.

Como se mencionó que a partir de la configuración 2, este desarrollado del 10 al 14 de mayo y durante las siguientes configuraciones, se empezó a registrar la velocidad del viento del área de experimentación durante los horarios establecidos ya mencionados anteriormente, durante toda la experimentación de los 20 días restantes, se observó que durante las mediciones diurno de las 8:00 h arrojaron como resultado en base de la tabla de Beaufort en estado de calma es decir de 0.00 a 0.02 m/s; esto es debido al cambio de presión en el ambiente por el aumento de temperatura.



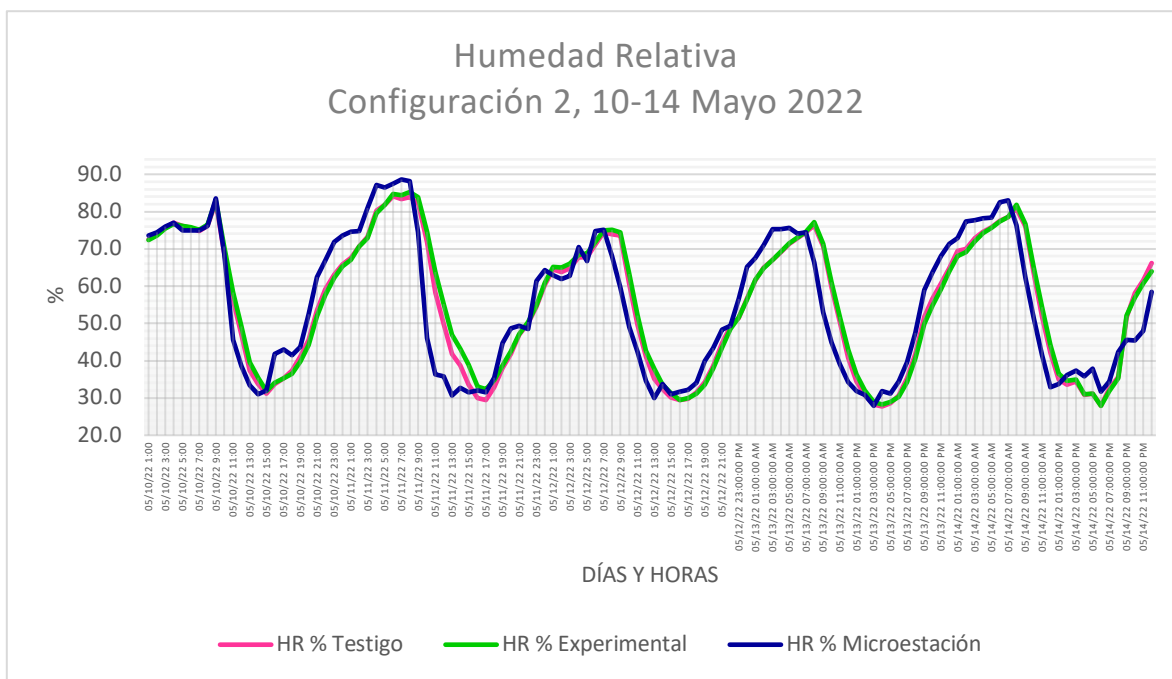
Imagen 12.- Vista del exterior a detalle del tubo subterráneo abierto, configuración 2, fuente: elaboración propia.



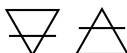
Gráfica 3.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 2 del 10 al 14 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

En la gráfica 3, se visualiza las diferentes temperaturas por hora durante los 5 días de experimentación mantienen un rango muy similar entre los módulos, el día más representativo que se observa con diferencias de temperatura es del día 11, siendo las 13:00 h se registró la mayor temperatura con 39.9°C en la micro estación, mientras tanto en el módulo testigo su registro fue de 38.9°C y en el módulo experimental su comportamiento fue de 37.7°C teniendo una diferencia de temperatura entre este y la micro estación fue de 2.2°C, mientras su comportamiento de diferencias de temperatura entre la micro estación y el módulo testigo fue de 1°C.

En la gráfica anterior se visualiza también dentro de ella la velocidad el aire en metro sobre segundo (m/s) durante el proceso de obtención de datos las velocidades con mayor velocidad oscilaron dentro del rango en el horario vespertino 16:00 h se obtuvieron registros como débil en la tabla de Beaufort con un promedio no mayor de 1.3 m/s.



Gráfica 4.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 2 del 10 al 14 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.



En la gráfica 4, se visualiza una diferencia en la humedad relativa (%) por hora durante los 5 días de experimentación, se ve un pequeño desfase en la humedad relativa de la micro estación, pero entre los módulos de estudio, tanto para módulo testigo como para el experimental no tuvieron variación significativa, tomando en cuenta que dentro de este proceso los tubos subterráneos se encuentran abiertos las 24 horas, registrando la máxima registrada fue del día 11 de mayo con un 83%.

Prueba t en temperatura

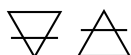
Configuración 2	Temp. °C Testigo	Temp. °C Experimental
Media	29.01540833	28.8618
Varianza	50.37957873	51.44724855
Observaciones	120	120
Coeficiente de correlación de Pearson	0.998578503	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	4.339841548	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	3.00913E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

Tabla 17.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones en temperatura configuración 2, fuente: elaboración propia.

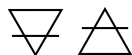
Prueba t en humedad relativa

Configuración 2	HR % Testigo	HR % Experimental
Media	55.14008333	55.70126667
Varianza	316.4887981	309.036341
Observaciones	120	120
Coeficiente de correlación de Pearson	0.996560161	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	-4.148434892	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	6.31E-05	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

Tabla 18.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones de humedad relativa configuración 2, fuente: elaboración propia.



En las tablas N°17 y N°18, se observa en la comparación con la prueba t student, no se obtuvo un valor significativo entre la configuración 2, durante el proceso de medición de inicio y la medición al finalizar.

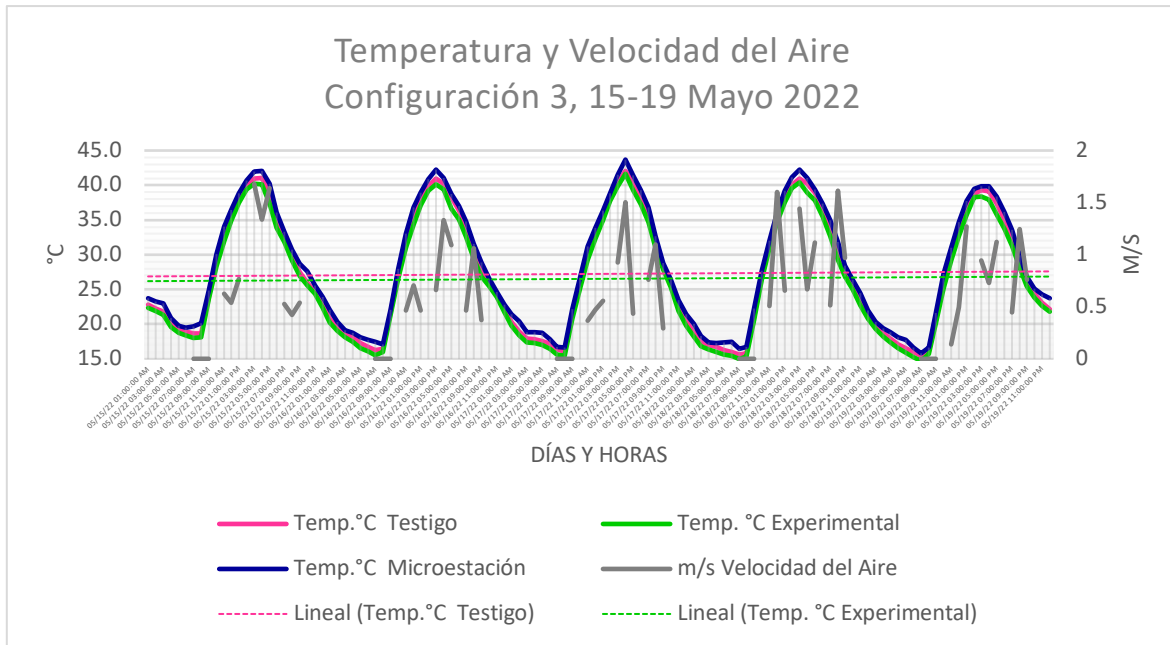


4.5 Configuración 3

En esta configuración se maniobra los módulos de la siguiente manera: abiertos los vanos de ambos módulos, mientras tanto el módulo experimental se abre un sistema pasivo (chimenea solar) y se vuelve a cerrar el sistema pasivo de los tubos subterráneos.



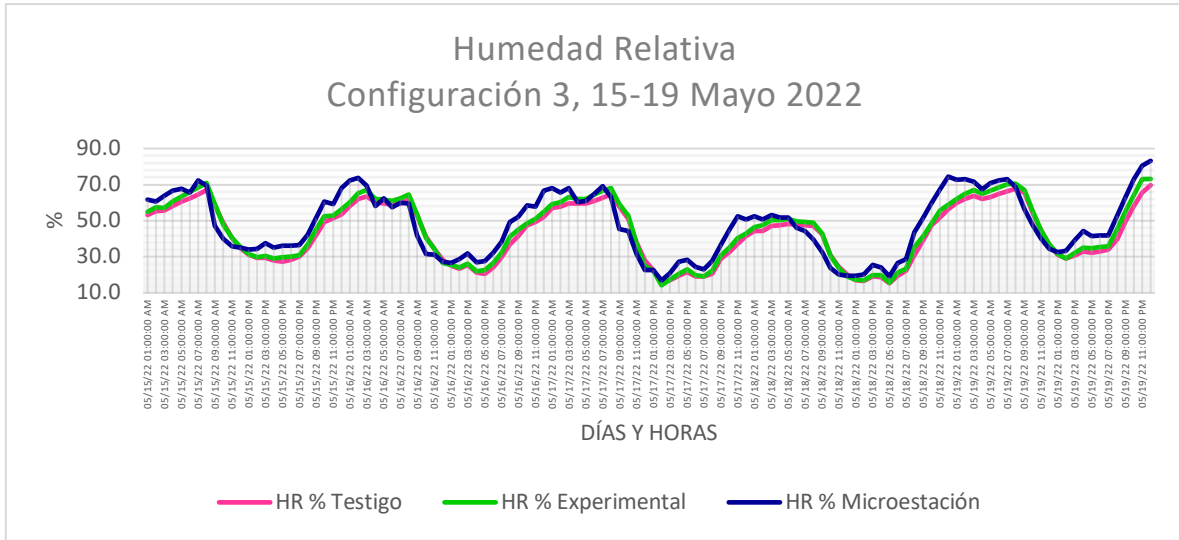
Imagen 13.- Configuración 3, vista frontal, fuente: elaboración propia.



Gráfica 5.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 3 del 15 al 19 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

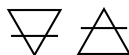
En la gráfica 5, se visualiza las diferentes temperaturas por hora durante los 5 días de experimentación mantienen un rango muy similar entre los módulos, pero a diferencia de la configuración 2, en este se observa que el sistema pasivo de la chimenea solar por efecto natural del viento por medio de la oscilación se mantiene por debajo en todas las configuraciones experimental de hasta 1.5°C de diferencia entre el módulo experimental hacia el módulo testigo.

En la gráfica anterior se visualiza también dentro de ella la velocidad el aire en metro sobre segundo (m/s) durante el proceso de obtención de datos las velocidades con mayor velocidad oscilaron dentro del rango en el horario vespertino 16:00 h se obtuvieron registros como débil en la tabla de Beaufort con un promedio no mayor de 1.5 m/s.



Gráfica 6.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 3 del 15 al 19 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

En la gráfica 6, se visualiza una diferencia en la humedad relativa (%) por hora durante los 5 días de experimentación, se ve un pequeño desfase en la humedad relativa de la micro estación, pero entre los módulos de estudio, tanto para módulo testigo como para el experimental no tuvieron variación significativa, tomando en cuenta que dentro de este proceso la chimenea solar se mantuvo abiertos las 24 horas, registrando la máxima registrada fue del día 19 de mayo con un 73% en el módulo experimental, mientras en el módulo testigo se registró con un 70% de humedad relativa, una variación muy significativa del 3%.



Prueba t en temperatura

Configuración 3	Temp. °C Testigo	Temp. °C Experimental
Media	27.2314	26.51983333
Varianza	73.35758801	70.8601415
Observaciones	120	120
Coefficiente de correlación de Pearson	0.999610109	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	27.93738693	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	4.22E-54	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

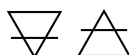
Tabla 19.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones en temperatura configuración 3, fuente: elaboración propia.

Prueba t en humedad relativa

Configuración 3	HR % Testigo	HR % Experimental
Media	42.87725833	44.78181667
Varianza	253.0315101	285.5942465
Observaciones	120	120
Coefficiente de correlación de Pearson	0.996860974	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	-12.7613496	
P(T<=t) una cola	0.0000	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	5.00E-24	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

Tabla 20.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones de humedad relativa configuración 3, fuente: elaboración propia.

En las tablas N°19 y N°20, se observa en la comparación con la prueba t student, no se obtuvo un valor significativo entre la configuración 3, durante el proceso de medición de inicio y la medición al finalizar.

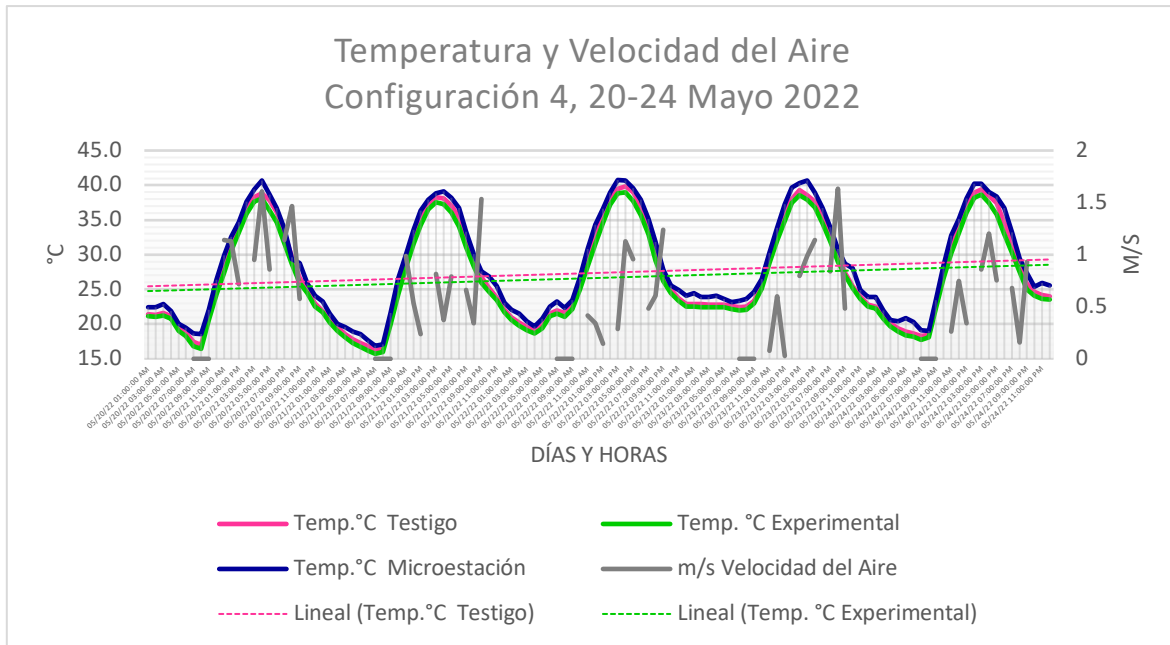


4.6 Configuración 4

En esta configuración se maniobra los módulos de la siguiente manera: totalmente abiertos los vanos de ambos módulos, mientras tanto el módulo experimental se abren ambos sistemas pasivos; es decir tanto la chimenea solar y los tubos subterráneos denominado sistema mixto.



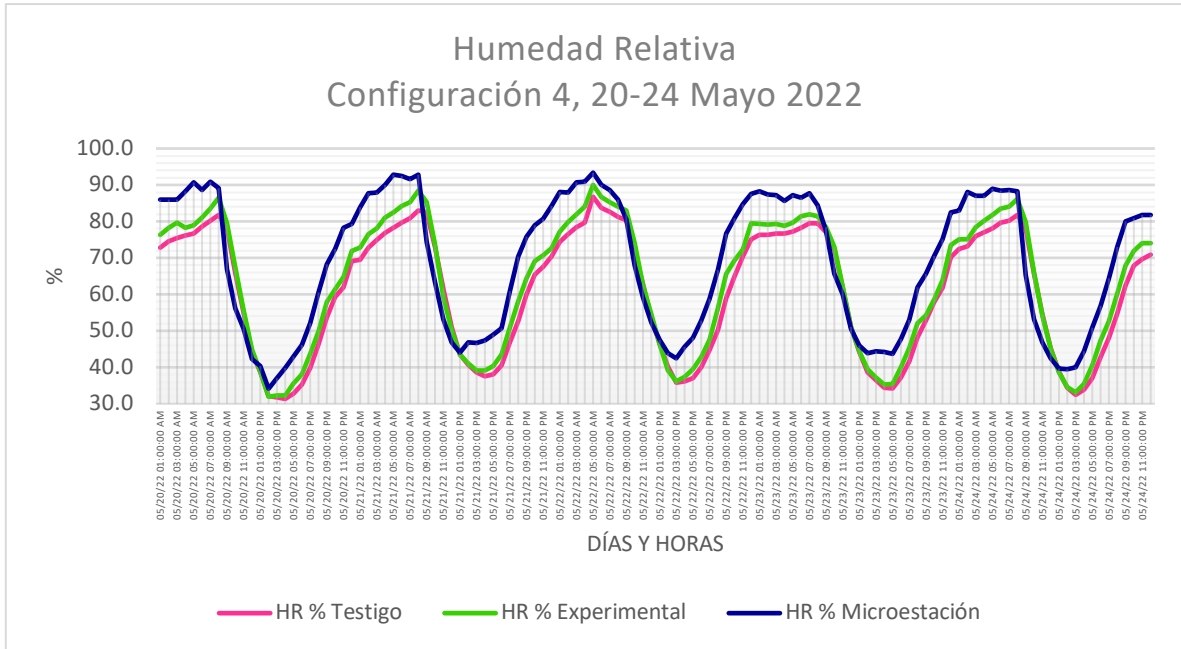
Imagen 14.- Vista del exterior a detalle del tubo subterráneo y chimenea solar abiertos, configuración 4, fuente: elaboración propia.



Gráfica 7.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 4 del 20 al 24 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

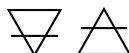
En la gráfica 7, se visualiza las diferentes temperaturas por hora durante los 5 días de experimentación, mantienen un rango muy similar entre los módulos, este se observa que el sistema pasivo de la chimenea solar y tubos subterráneos por efecto natural del viento por medio de la oscilación se mantiene por debajo en todas las configuraciones experimental de hasta 1.7°C de diferencia entre el módulo experimental hacia el módulo testigo en los horarios con mayor índice de temperatura que son de 12:00 h a 17:00 h.

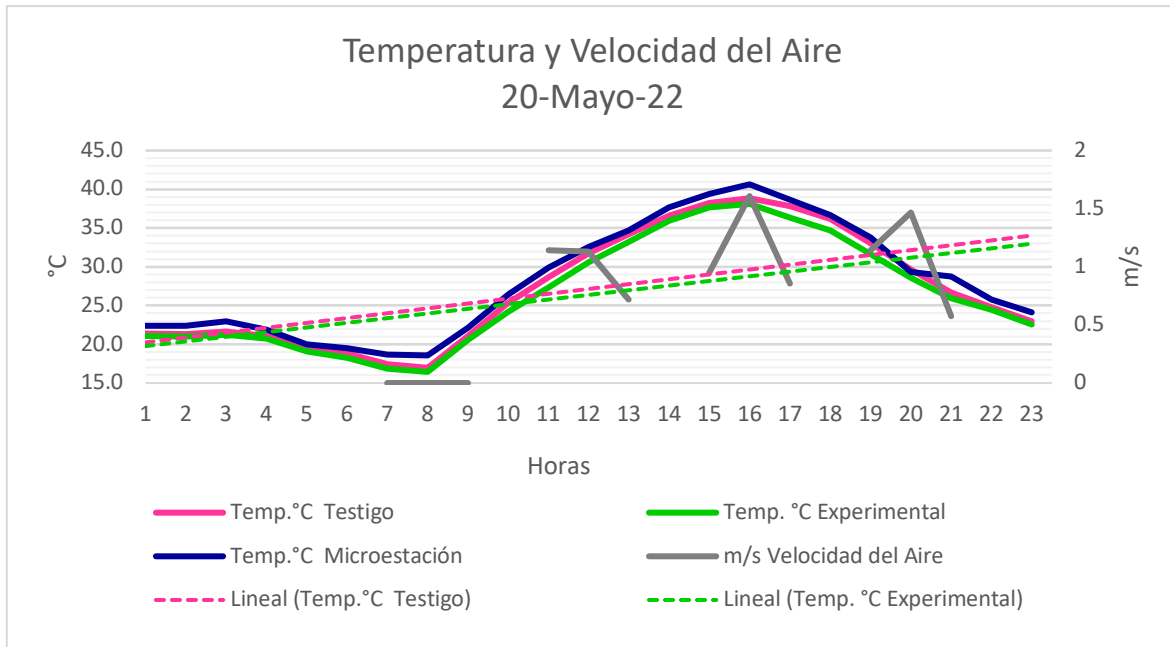
En la gráfica anterior se visualiza también dentro de ella la velocidad el aire en metro sobre segundo (m/s) durante el proceso de obtención de datos las velocidades con mayor velocidad oscilaron dentro del rango en el horario vespertino 16:00 h se obtuvieron registros como débil en la tabla de Beaufort con un promedio no mayor de 1.1 m/s.



Gráfica 8.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 4 del 20 al 24 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

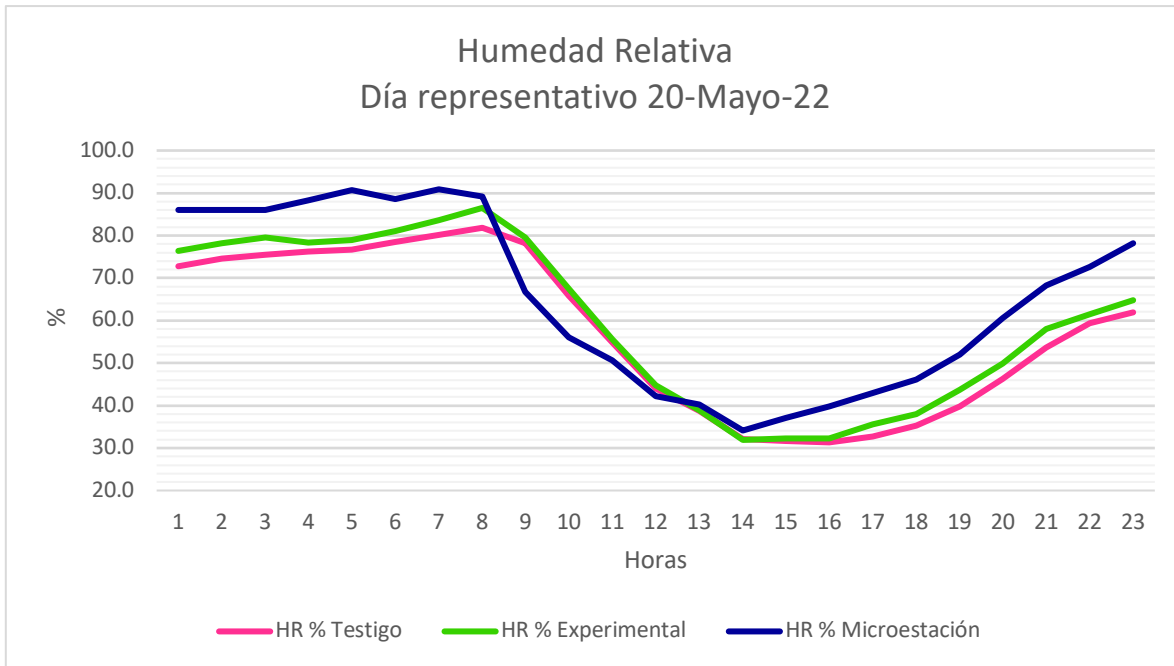
En la gráfica 8, se visualiza una diferencia en la humedad relativa (%) por hora durante los 5 días de experimentación, se ve un pequeño desfase en la humedad relativa de la micro estación, pero entre los módulos de testigo y el experimental, se mantiene por debajo la humedad el módulo testigo, teniendo un día significativo el día 20, que más adelante hablaremos de ello, se muestra que las humedades máximas hasta un 93% dentro de las horas en la madrugada y teniendo las mínimas de hasta un 31% en la hora críticas siendo entre las 12:00 h y 13:00 h, teniendo una diferencia no mayor a un 4% de humedad entre ambos módulos.





Gráfica 9.- Día representativo, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 4 del día 20 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

En la gráfica 9, del día representativo 20 de mayo 2022, se observa que el módulo testigo y el módulo experimental se mantienen muy similar entre ellos así como la micro estación, teniendo una temperatura mínima de 16°C en el módulo experimental, mientras en el módulo testigo teniendo 17°C, mientras la micro estación se registró 18.5°C, teniendo una diferencia entre el módulo experimental y la micro estación de 2.5°C en el horario de menor índice de temperatura, mientras en el horario crítico donde se registraron mayor temperatura fue de 40.5°C a las 16:00 h. registrada en la micro estación, mientras tanto su comportamiento en el módulo testigo registro una temperatura de 39°C, mientras en el módulo experimental fue de 38°C, teniendo una diferencia entre la micro estación y el módulo experimental 2.5°C en el horario más crítico.



Gráfica 10.- Día representativo, humedad relativa internas, configuración 4 del día 20 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

En la gráfica 10, del día representativo 20 de mayo 2022, se observa un pequeño desfase en el registro de la micro estación, se observa que se tiene una constante en la humedad en los horarios de 9:00 h a 14:00 h, mientras que el mayor índice de registro de la humedad se registró con un 90% y con una mínima de 31% de humedad en el horario más crítico, el módulo experimental se mantiene por encima del módulo testigo con una diferencia no mayor al 5% de humedad.

Prueba t en temperatura

Configuración 4	Temp. °C Testigo	Temp. °C Experimental
Media	27.38030833	26.65459167
Varianza	51.22930075	48.02593813
Observaciones	120	120
Coeficiente de correlación de Pearson	0.999226601	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	22.18320844	
P(T<=t) una cola	0.1751	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	4.28E-44	
Valor crítico de t (dos colas)	1.98009988	

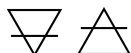
Tabla 21.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones en temperatura configuración 4, fuente: elaboración propia.

Prueba t en humedad relativa

Configuración 4	HR % Testigo	HR % Experimental
Media	60.6991	63.14765833
Varianza	294.6318446	320.0358107
Observaciones	120	120
Coeficiente de correlación de Pearson	0.996237151	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	15.92718356	
P(T<=t) una cola	0.0713	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	2.79E-31	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

Tabla 22.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones de humedad relativa configuración 4, fuente: elaboración propia.

En las tablas N°21 y N°22, se observa en la comparación con la prueba t student, se obtuvo una diferencia significativa de aceptación entre la configuración 4, durante el proceso de medición de inicio y la medición al finalizar.

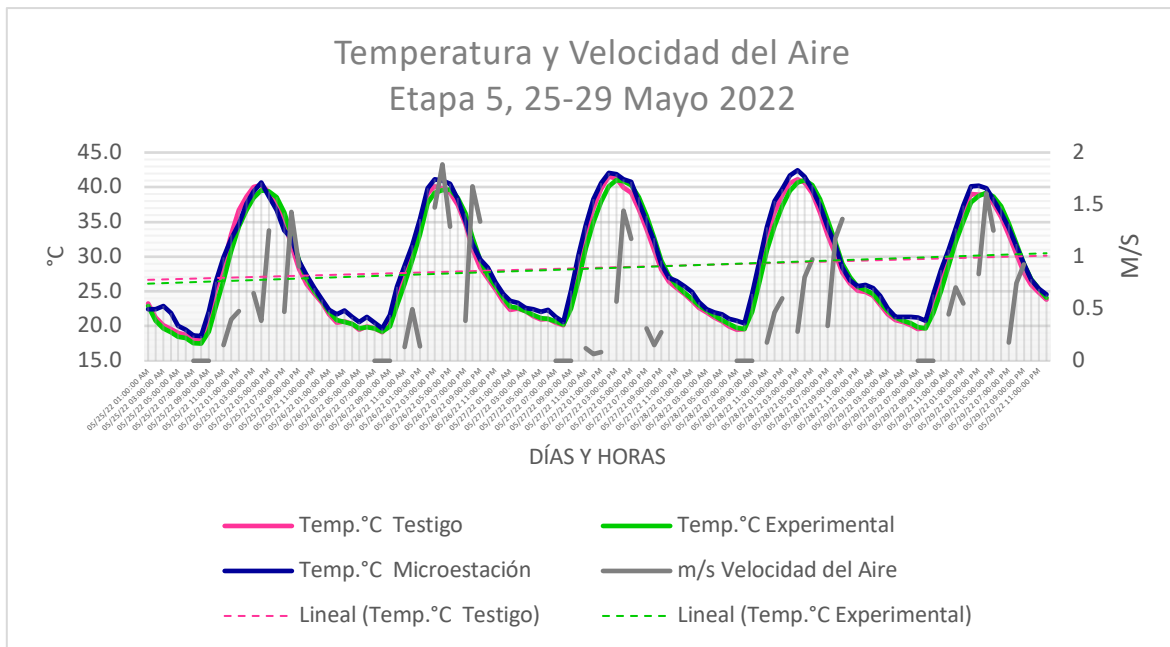


4.7 Configuración 5

En esta última configuración se maniobra los módulos de la siguiente manera: abierto el vano el módulo testigo, mientras tanto el módulo experimental se cierra el vano, pero se dejan abiertos ambos sistemas pasivos es decir tanto la chimenea solar y los tubos subterráneos denominado sistema mixto.



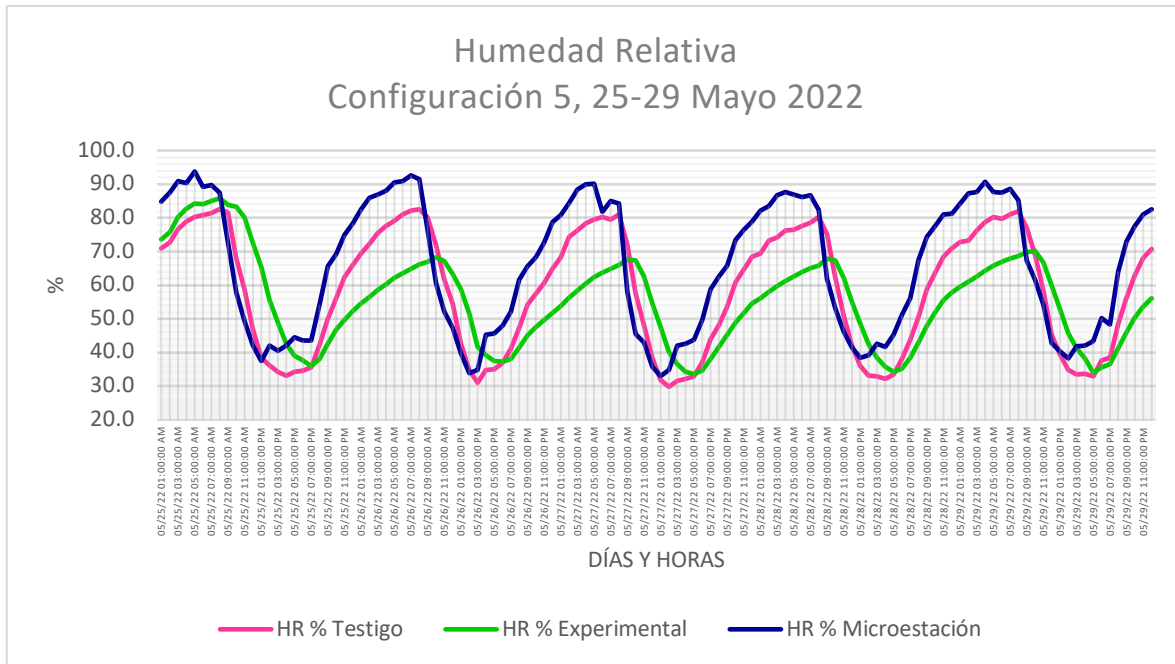
Imagen 15.- Configuración 5, vista frontal, fuente: elaboración propia



Gráfica 11.- Comparativa de dispositivos, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 5 del 25 al 29 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

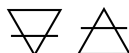
En la gráfica 11, se visualiza las diferentes temperaturas por hora durante los 5 días de experimentación, mantienen un rango muy similar entre los módulos, este se observa que el sistema pasivo de la chimenea solar y los tubos subterráneos por efecto natural del viento por medio de la oscilación se mantiene por debajo en todas las configuraciones experimental de hasta 1.5°C de diferencia entre el módulo experimental hacia el módulo testigo en los horarios con mayor índice de temperatura que son 12:00 h a 18:00 h.

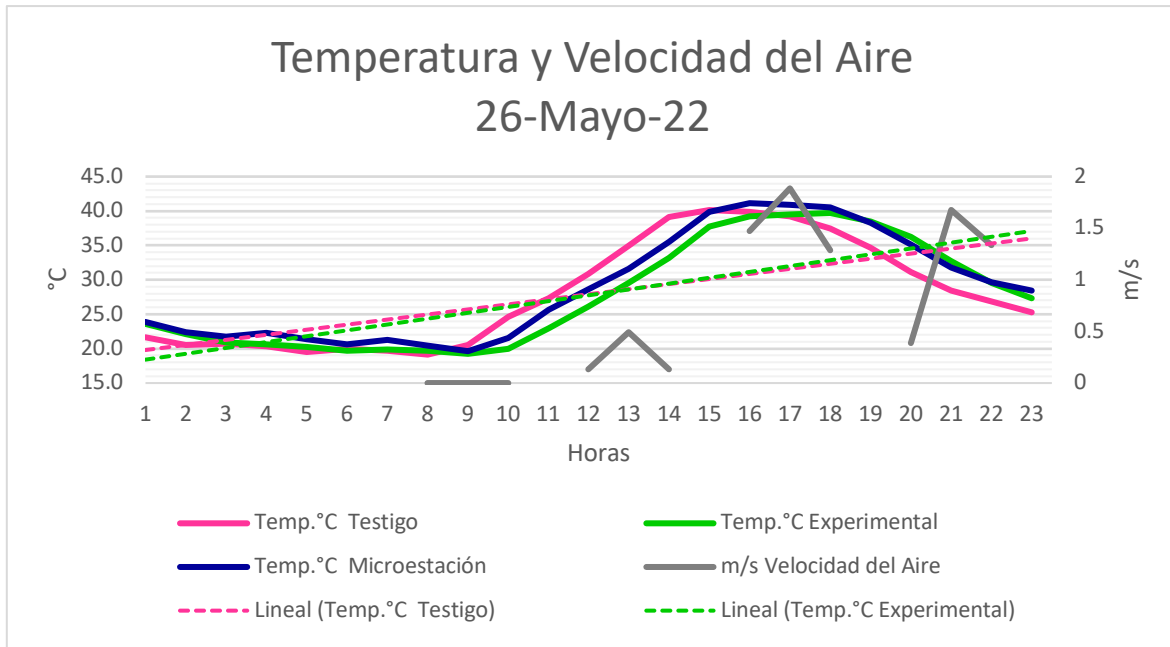
En la gráfica anterior se visualiza también dentro de ella la velocidad el aire en metro sobre segundo (m/s) durante el proceso de obtención de datos las velocidades con mayor velocidad oscilaron dentro del rango en el horario vespertino 16:00 h se obtuvieron registros como débil en la tabla de Beaufort con un promedio de 1.2 m/s.



Gráfica 12.- Comparativa de dispositivos, humedad relativa internas, configuración 5 del 25 al 29 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

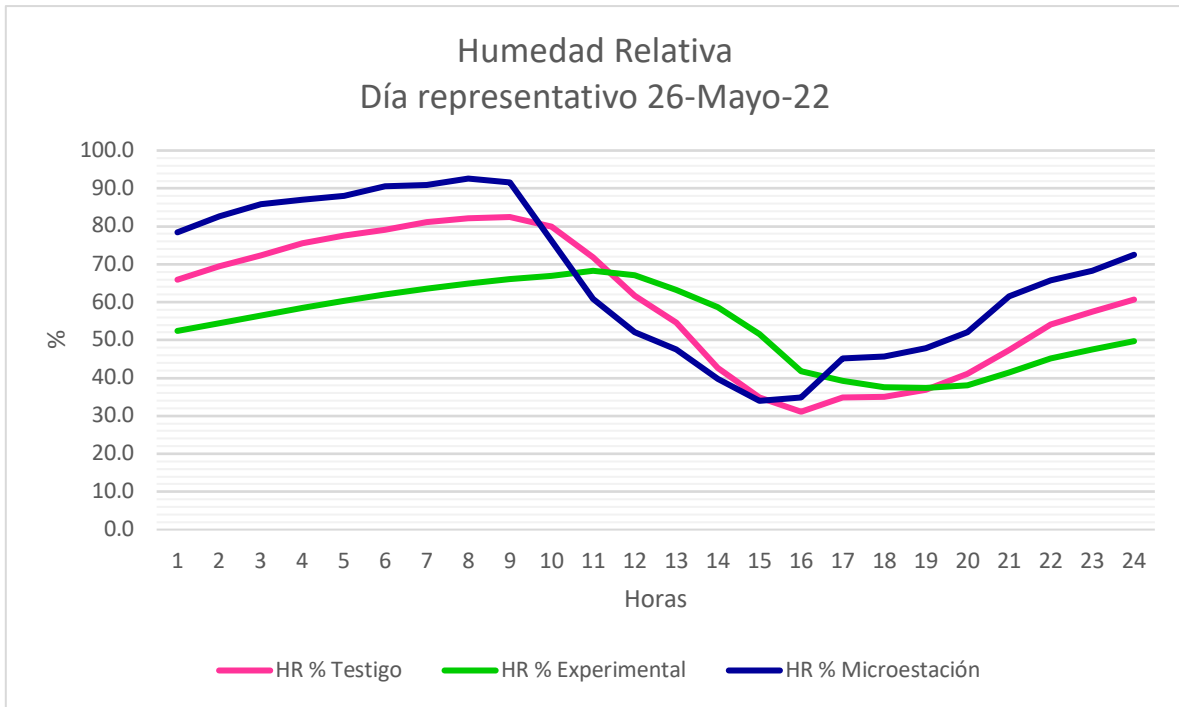
En la gráfica 12, se visualiza la diferencia humedad relativa (%) por hora durante los 5 días de experimentación, se observa diferencias significativas en cada uno de los registros, teniendo un registro mayor con un 92% y una mínima de un 30% pero entre los módulos testigo y el experimental, se mantiene por debajo la humedad el módulo experimental, teniendo un día significativo el día 26, que más adelante hablaremos de ello, se muestra que las humedades máximas hasta un 92% dentro de las horas en la madrugada y teniendo las mínimas de hasta un 30% en la hora críticas siendo entre las 12:00 h y 13:00 h, teniendo una diferencia no mayor a un 10% de humedad entre ambos módulos.





Gráfica 13.- Día representativo, temperaturas internas y velocidad del viento en el exterior, configuración 5 del día 26 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

En la gráfica 13, del día representativo 26 de mayo 2022, se observa que el módulo testigo y el módulo experimental se mantienen con pequeñas diferencias entre ellos así como la micro estación, teniendo una temperatura mínima de 18°C en el módulo testigo, mientras en el módulo experimental teniendo 19°C, mientras la micro estación se registró 21.5°C, teniendo un diferencia entre el módulo experimental y la micro estación de 2.5°C en el horario de menor índice de temperatura, mientras en el horario crítico donde se registraron mayor temperatura fue de 41°C a las 16:00 h. registrada en la micro estación, mientras tanto su comportamiento en el módulo testigo registro una temperatura de 40°C, mientras en el módulo experimental fue de 38°C, teniendo una diferencia entre la micro estación y el módulo experimental 3°C en el horario más crítico.



Gráfica 14.- Día representativo, humedad relativa internas, configuración 5 del día 26 de mayo 2022, fuente: elaboración propia.

En la gráfica 14, del día representativo 26 de mayo 2022, se observan diferencias entre cada uno de ellos, mientras que el módulo experimental en el horario crítico de 12:00 h a 17:00 h se mantiene entre un 69% aun 40% de humedad, mientras en el módulo testigo de registro con un 69% aun 35% teniendo solo un 5% en el horario crítico.

Prueba t en temperatura

Configuración 5	Temp. °C Testigo	Temp. °C Experimental
Media	28.40705	28.30591667
Varianza	55.48069502	55.49210796
Observaciones	120	120
Coeficiente de correlación de Pearson	0.987587884	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	0.943960172	
P(T<=t) una cola	0.1736	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	0.3471	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

Tabla 23.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones en temperatura configuración 5, fuente: elaboración propia.

Prueba t en humedad relativa

Configuración 5	HR % Testigo	HR % Experimental
Media	58.57620833	55.4396
Varianza	324.7288784	187.7832746
Observaciones	120	120
Coeficiente de correlación de Pearson	0.772023635	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	119	
Estadístico t	2.999430094	
P(T<=t) una cola	0.0947	
Valor crítico de t (una cola)	1.657759285	
P(T<=t) dos colas	0.0533	
Valor crítico de t (dos colas)	1.980099876	

Tabla 24.- Comparación del nivel de aceptación de t student entre las mediciones de humedad relativa configuración 5, fuente: elaboración propia.

En las tablas N°23 y N°24, se observa en la comparación con la prueba t student, se obtuvo una diferencia significativa de aceptación entre la configuración 5, durante el proceso de medición de inicio y la medición al finalizar.



Conclusiones

Dentro de la parte de la ventilación inducida por el movimiento convectivo del aire, se puede decir que las observaciones realizadas en modelos a escala dan un punto de partida, para poder diseñar las posibles aperturas de ventilación para una recámara, reduciendo los errores de planeación antes de hacer cualquier acción, aunque hubiese resultados de gran ayuda la utilización de más equipo, los resultados se consideran **satisfactorios**, sobre todo en la configuración 4 y 5 que hablan de nuestro tema a desarrollar; “Implementación de estrategia mixta de ventilación en clima cálido subhúmedo”.

“Un sistema de ventilación mixta, compuesto por un serpentín de tubo subterráneo y una chimenea solar, permitira en un clima cálido subhúmedo, ingresar por medio de los tubos subterráneos aire al interior del espacio habitable; por lo que se infiere que se lograrán temperaturas interiores por debajo de la temperatura exterior.”

Como resultado del estudio ligado a la hipótesis, el proceso experimental durante el periodo dentro de la **configuración 4**, se registró una temperatura interna en el módulo experimental promedio del lugar de 26.7°C, mientras tanto, el comportamiento de la temperatura dentro del módulo testigo es de 27.9°C, teniendo una diferencia de 1.2°C menor hacia el interior del módulo experimental. Mientras tanto la micro estación se registró un promedio de 28.4°C, acentuando que el comportamiento dentro del módulo experimental se tiene una diferencia de 1.7°C menor que al exterior, mientras tanto, en el módulo testigo solo se tiene una diferencia de 0.5°C.

Mientras tanto el comportamiento dentro de la **configuración 5**, quedó de la siguiente manera, se registró una temperatura interna en el módulo experimental promedio del lugar de 28.3°C, mientras tanto, el comportamiento de la temperatura dentro del módulo testigo es de 27.5°C, teniendo una diferencia de 0.8°C menor hacia el interior del módulo experimental. Mientras tanto la micro estación se registró un promedio de 29.4°C, acentuando que el comportamiento dentro del módulo experimental se tiene una diferencia de 1.1°C menor que

al exterior, mientras tanto, en el módulo testigo se tiene una diferencia de 1.9°C, esto debido a la falta de mayor porcentaje de ventilación cruzada en el módulo experimental.

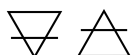
El módulo experimental dotado de ambos sistemas mixtos de ventilación, es decir; la chimenea solar y los tubos subterráneos, registran una menor temperatura respecto al módulo testigo, lo cual demuestra la viabilidad del sistema mixto, esto se refuerza por el hecho de que la reducción de temperaturas es mayor entre las 10:00 h y 16:00 h, tomando en cuenta el horario de verano, debido a la mayor radiación que actúa sobre la chimenea solar, aumentando el gradiente de temperatura respecto al interior del módulo experimental y por consiguiente el movimiento y renovación del aire interior proveniente de los tubos subterráneos denominados intercambiador de tierra-aire.

El rango horario anterior mencionado coincide en gran parte con el período de mayor temperatura, por lo que el sistema mixto de ventilación tiene utilidad práctica; lo anterior se refrenda por la mayor reducción de temperatura que se obtiene para valores superiores a los 35°C en el interior del módulo experimental.

La menor reducción de temperatura fuera del rango horario referenciado anteriormente indica que para optimizar el rendimiento de ventilación mixta durante cualquier hora del día, se requiere ventilación asistida, ya que la falta de radiación solar limita o anula el funcionamiento de la chimenea solar. Un extractor en la boca o salida de la chimenea solar puede ser una buena opción para permitir un buen funcionamiento del sistema en horarios nocturnos.

En cierta medida, la temperatura en el interior de ambos módulos de estudio, fue mayor que la temperatura de la micro estación, esto debido a que sus dimensiones a escala este permite que la variación de las propiedades de los materiales utilizados ejerzan una influencia determinante en el volumen de aire interior; por lo anterior, los resultados obtenidos no se consideran definitivos, ya que para obtenerlos es necesario implementar el sistema mixto de ventilación a una escala real y con los materiales utilizados comúnmente en la construcción de viviendas de la región.

Otra circunstancia que cabe mencionar es la discrepancia en cuanto a los datos de velocidad del viento registrados por el anemómetro dual manual, ya que este registraba velocidades de desde 0.0 a 1.2m/s para los vientos dominantes, con escasos registros de velocidades por encima de los 3m/s que eran solo ráfagas en unos cuantos segundos, mismos que se presentan en la víspera de cualquier lluvia, esta observación quizá no tenga la suficiente fundamentación, pero considero la circunstancia de que los vientos que se presentaron, en algunas ocasiones durante la estancia en el área experimental, llegaron a caer basura orgánica que se encuentra cerca del área experimental.



5.1 Recomendaciones

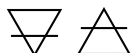
Se recomienda para próximas investigaciones indagar y profundizar en la técnica antes mencionada, así enfocarse en el cálculo exacto de las dimensiones de los tubos, tanto en la longitud como en el diámetro y el área mínima del terreno que se necesita para una instalación ideal.

Se recomienda continuar con proyectos que nos permitan obtener datos referentes a nuestra ciudad, a una escala real, desarrollando estudios de nuestros suelos (distintas profundidades) y analizando en distintas temporadas en un clima cálido subhúmedo y continuar con esta línea de investigación.

5.2 Nuevas preguntas de investigación

Se plantean las siguientes preguntas de investigación para subsecuentes estudios:

- 1.- ¿Cuál será el desempeño mixto de ventilación a una mayor profundidad los tubos subterráneos?
- 2.- ¿Cuál será el desempeño mixto de ventilación en temporada de lluvia u otras temporadas?
- 3.- ¿Cuál será el desempeño mixto de ventilación si este pudiera llegar a reducir temperatura y humedad, si se utiliza un sistema activo instalado en la boca de la chimenea solar en el módulo experimental?
- 4.- ¿Cuál sería el desempeño del sistema de tubos subterráneos, si este aumenta la entrada del aire y se reduce la salida?



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A'zami, A. (2005, May). Badgir in traditional Iranian architecture. In *International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment"*, Santorini, Greece (pp. 1021-1026). Disponible en: http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/inive/palenc/2005/azami2.pdf

Aguilera, P., Viñas, C., Rodríguez, A., & Varela, S. (2018). Análisis de la influencia, en la demanda de climatización, de estrategias pasivas en viviendas con grandes superficies acristaladas, mediante un código de simulación. La casa Farnsworth= Analysis of the influence, in climate control demand, of passive strategies in houses with large glazed surfaces, by means of a simulation code. The Farnsworth house. *Anales de Edificación*, 4(3), 34-43. Disponible en: http://polired.upm.es/index.php/anales_de_edificacion/article/view/3798

B. Givoni, Man, Climate and Architecture. Essex: Elsevier, 1969.

Blender, M. (2015). La transmisión del calor en edificios. *Arquitectura & Energía. Recuperado el, 25*. Disponible en: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/la-transmision-del-calor/#:~:text=La%20convecci%C3%B3n%20se%20refiere%20a,mezclarse%20partes%20de%20diferente%20temperatura.&text=Las%20convecciones%20m%C3%A1s%20importantes%20en,por%20ventilaci%C3%B3n%20y%20por%20infiltraciones>

Briceño-Benard, I. (2018). Prototipo de sistema de torre de viento para enfriamiento habitacional híbrido en clima cálido. Caso de estudio vivienda urbana en Sinaloa, México. Disponible en: <https://rei.iteso.mx/handle/11117/5437>

Cabezas, A. (2013). Eficiencia energética a través de utilización de pozos canadienses con el análisis de datos de un caso real “Casa Pomaret”. Tesina final de Master en Edificación. Universidad Politécnica de Catalunya – UPC, Barcelona.

Chávez Del Valle, F. J. (2002). *Zona variable de confort térmico*. Universidad Politécnica de Catalunya. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93416>

Chen, Z. D., Bandopadhyay, P., Halldorsson, J., Byrjalsen, C., Heiselberg, P., & Li, Y. (2003). An experimental investigation of solar chimney model with uniform wall heat flux. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013230300057X>

Díaz González, J. (2018). Análisis energético de nave industrial de alta carga térmica. Disponible en: <https://repositorio.upct.es/handle/10317/6765>

FERNÁNDEZ, I. O.(2019). TORRES DE VIENTO. Disponible en: http://oa.upm.es/57995/1/TFG_20_Ortego_Fernandez_Irene.pdf

FLORES LARSEN S. Y LESINO G. (2000). “Modelización de intercambiadores tierra-aire para acondicionamiento térmico de edificios.” Actas del 8o Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Materia (LATCYM 2001), Veracruz, México, febrero de 2001.

Fuentes, F. V. (2002), Metodología de diseño bioclimático, el análisis climático UAM-Azcapotzalco. México: tesis de maestría.

García Chávez, J. R., & Fuentes Freixanet, V. (1995). Viento y arquitectura. Editorial Trillas, México, DF. Disponible en:

GAUTHIER C., et al. (1997). Numerical simulation of soil heat exchanger-storage systems for greenhouses. *Solar Energy* 60, 6, pp. 333-346.

Gómez, Amador. (2003), Confort Termofisiológico, Material de lectura para diplomado en arquitectura bioclimática, Chihuahua, Chih. Disponible en :

https://www.academia.edu/30064602/UNIVERSIDAD_DE_COLIMA_FACULTAD_DE_ARQUITECTURA_Y_DISE%C3%91O_EST%C3%81NDAR_LOCAL_DE_CONFORT_T%C3%89RMICO_PARA_LA_CIUADAD_DE_COLIMA_TESIS_PARA_OBTENER_EL_GRADO_DE_MAESTRO_EN_ARQUITECTURA

Heard, C., & García López, E. (2010). Modelado de Cargas Térmicas en Edificios. DF, México: Universidad Autónoma de México (UAM).

Hollmuller, P. & Bernard, L., (1999). Cooling and preheating with buried pipe systems: monitoring and simulation of installations in Switzerland. Brisbane, Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE), pp. 447- 462.

Hollmuller, P. & Lachal, B., 2005. Buried pipe systems with sensible and latent heat exchange validation of numerical simulation against analytical solution and long-term monitoring. Montreal, Escuela Politécnica de Montreal.

https://www.researchgate.net/profile/Victor-Fuentes-Freixanet/publication/44363811_Viento_y_arquitectura_el_viento_como_factor_de_diseno_arquitectonico/links/55ce77f708ae6a8813849f66/Viento-y-arquitectura-el-viento-como-factor-de-diseno-arquitectonico.pdf

INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. 4ª edición. México: Prentice Hall.

INEGI. (2021). Climatología. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/>

INEGI. (2021). México en cifras, Colima. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=06>

International Energy Agency (IEA) (2021), International partnership for energy efficiency cooperation. Building energy performance metrics. Supporting energy efficiency progress in major economies. Disponible en: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>

López González, L. M., López Ochoa, L. M., Tejada Ocejo, J., & Tejada Ocejo, F. (2010). LA VENTILACIÓN DE LAS VIVIENDAS EN EL VIGENTE CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE): SISTEMAS MECÁNICOS E HÍBRIDOS. Disponible en: <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/2028>

López, C. J. E., Amador, A. G., Gómez-Azpeitia, G., Cruz, E. M. G., & del Pozo, C. E. (2015). Desempeño térmico de tres dispositivos de enfriamiento evaporativo pasivo en clima cálido sub-húmedo. *Palapa*, 3(18), 84-96. Disponible en: <http://revistasacademicas.uco.mx/index.php/palapa/article/view/403>

M. Santamouris, *Advances in passive cooling*. Earthscan, 2007.

Malchaire, J. (2012). *Fundamentos físicos del trabajo en condiciones de calor*. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/162520/Cap%C3%ADtulo+42.+Calor+y+fr%C3%ADo>

Mallick, F. H. (1996) *Thermal comfort and building design in the tropical climates*. *Energy and Building* 23, 161-167.

Marino, B. M., & Thomas, L. P. (2007). Modelado en el laboratorio de la ventilación natural generada por diferencias de temperatura entre el exterior y el interior en una vivienda. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 11*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237504076_MODELADO_EN_EL_LABORATORIO_DE_LA_VENTILACION_NATURAL_GENERADA_POR_DIFERENCIAS_DE_TEMPERATURA_ENTRE_EL_EXTERIOR_Y_EL_INTERIOR_EN_UNA_VIVIENDA

Martín-Consuegra, F., Alonso, C., Frutos, B., Oteiza, I., & Cuerdo-Vilches, T. (2014). Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto cc Eduardo Torroja-CSIC. Disponible en: <https://digital.csic.es/handle/10261/108521>

MIHALAKAKOU, G., et al. (1994). Modelling the thermal performance of earth-to-air heat exchangers. *Solar Energy*, 53, Nro.3, pp. 301-305.

Morillón, D., (1993). *Bioclimática, sistemas pasivos de climatización*; pag. 61.

Neila, F. y Bedoya, C. (1997). *Técnicas arquitectónicas y constructivas de acondicionamiento ambiental*. 1era Edición. Madrid: Murilla –Lería.

Olgyay, V. (1963). *Desing with the climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. New Jersey: Princenton, University Press.

ONSET. (2022). *HOBO DATALOGGER*. Disponible en: <https://www.onsetcomp.com/>

Rehau, (2012). Intercambiador aire-tierra para ventilación controlada. Disponible en: <https://www.rehau.com/group-en>

Rodriguez, H. (2016). Torres de viento Una mirada al pasado para mejorar nuestro futuro, *Ciencia cierta*, 9(48). Disponible en: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/12/13/torres-de-viento-una-mirada-al-pasado-para-mejorar-nuestro-futuro/>

Saranti, K. (2006, July). Air moving in and through building: historical prototypes and contemporary applications. In *International Workshop on Energy Performance and Environmental Quality of Buildings. Milos Island, Greece*. http://www.inive.org/members_area/medias/pdf/Inive/Milos2006/40_Saranti_6P. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.582.1766&rep=rep1&type=pdf>

Schlaich, J. (2003). *Diseño de sistemas comerciales para la torre solar de succión ascendente-utilización de flujos convectivos inducidos por la radiación solar para la generación de potencia*. Manzanares, 1 ed., p. 17.

Serra Florensa, R. (1989). *Clima, lugar y arquitectura*. Disponible en: <https://www.librosarq.com/ecologico/arquitectura-y-climas-rafael-serra/#.YFwIPq8zZPY>

Serra, R. (1999). *Arquitectura y Climas* (2002nd ed.). Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Servicio Meteorológico Nacional (CONAGUA). Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

Simos Yannas, E. E. (2006). *Roof Cooling techniques: a design book*. Estados Unidos de Norteamérica: EARTSCAN.

Szokolay, S. (2004). *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*. Gran Bretaña: ELSEVIER.

Torchia Núñez, J. C., & Cervantes de Gortari, J. (2010). *TERMODINÁMICA ESENCIAL*. DF, México: Universidad Nacional Autónoma de México (UAM).

Tudela, F. (1982). *Ecodiseño*. México: UAM-Xochimilco.

Xamán, J., Hernández-Pérez, I., Arce, J. Álvarez, G., Ramírez- Dávila, L. y Noh-Pat, F. (2014). Numerical study of earth-to-air heat exchanger: the effect of thermal insulation. *Energy and Buildings*, 85(Suppl. C), 356-361.

Yarke, E.R. (2005). *Ventilación Natural de Edificios y Métodos de Cálculo para aplicación de Ingenieros y Arquitectos*. Ruben Andres Bermejo Lopez. Buenos Aires, Nobuko. Disponible en:

https://www.academia.edu/39520511/Ventilación_natural_de_edificios_Fundamentos_y_Métodos_de_Cálculo_para_aplicación_de_Ingenieros_y_Arquitectos

Zhang, J., & Haghighat, F. (2005, August). Simulation of earth-to-air heat exchangers in hybrid ventilation systems. In *Ninth International IBPSA Conference, Building Simulation 2005, Montreal, Canada* (Vol. 3, pp. 1417-1424). Disponible en: http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2005/BS05_1417_1424.pdf

Anexos

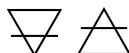
1 Registro de temperatura y humedad de todo el periodo experimental

Configuración 1: Ambos módulos cerrados							
Fecha Tiempo, GMT-05:00	Módulo Testigo		Módulo Experimental		Micro estación		
	Temp. °C Testigo	HR % Testigo	Temp. °C Experimental	HR % Experimental	Temp. °C Microestación	HR % Microestación	
05/02/22 1:00	11.3	40.6	10.3	40.7	10.8	40.1	
05/02/22 2:00	11.4	41.4	10.4	40.5	11.1	41.1	
05/02/22 3:00	11.9	39.6	10.6	40.3	11.5	39.2	
05/02/22 4:00	11.7	39.8	10.9	39.9	11.1	39.2	
05/02/22 5:00	11.6	40.0	10.7	40.2	11.4	39.8	
05/02/22 6:00	12.1	39.3	11.0	39.8	11.0	38.2	
05/02/22 7:00	11.6	40.0	10.5	40.4	11.5	39.9	
05/02/22 8:00	11.4	40.8	10.2	41.0	11.3	40.7	
05/02/22 9:00	14.4	44.1	13.4	43.7	13.9	43.6	
05/02/22 10:00	20.7	44.5	19.5	44.2	20.2	44.2	
05/02/22 11:00	26.1	43.0	25.1	43.0	25.6	42.6	
05/02/22 12:00	30.9	40.9	30.0	41.0	30.6	40.3	
05/02/22 13:00	34.5	38.0	34.1	37.8	34.1	37.8	
05/02/22 14:00	37.3	34.3	37.2	34.8	36.7	33.2	
05/02/22 15:00	38.8	33.0	39.0	32.9	38.6	33.9	
05/02/22 16:00	39.1	31.0	39.5	30.9	38.0	30.9	
05/02/22 17:00	38.6	28.9	39.0	29.5	38.5	28.4	
05/02/22 18:00	36.8	28.3	37.1	28.2	36.7	28.0	
05/02/22 19:00	34.8	27.8	35.1	27.1	34.3	27.4	
05/02/22 20:00	31.1	28.1	31.2	26.9	30.6	27.5	
05/02/22 21:00	27.4	28.9	27.4	27.6	26.9	28.7	
05/02/22 22:00	23.9	29.4	23.7	28.3	23.6	28.3	
05/02/22 23:00	21.3	30.5	21.0	29.5	20.9	29.4	
05/03/22 0:00	19.4	31.6	19.0	30.6	18.8	31.6	
05/03/22 1:00	18.3	32.9	17.8	31.8	18.1	32.4	
05/03/22 2:00	17.4	34.0	16.8	32.7	16.3	33.7	
05/03/22 3:00	16.8	34.3	16.2	33.2	16.7	34.3	
05/03/22 4:00	16.3	35.4	15.4	34.0	16.2	34.8	
05/03/22 5:00	15.8	36.1	15.0	34.6	15.3	35.9	
05/03/22 6:00	15.8	36.8	14.9	35.3	15.3	35.7	
05/03/22 7:00	15.6	37.4	14.7	35.8	15.1	37.3	
05/03/22 8:00	15.4	38.2	14.6	36.6	15.1	38.2	
05/03/22 9:00	17.6	40.7	16.7	38.6	17.2	40.2	
05/03/22 10:00	22.4	41.3	21.6	39.5	21.8	41.0	
05/03/22 11:00	26.1	40.9	25.4	39.3	25.9	40.5	
05/03/22 12:00	31.1	39.2	30.6	39.2	30.6	39.2	
05/03/22 13:00	35.5	36.3	35.2	35.0	35.4	36.1	
05/03/22 14:00	38.1	33.3	38.3	32.4	38.1	32.2	
05/03/22 15:00	39.9	32.0	40.4	31.0	39.4	32.0	
05/03/22 16:00	40.5	29.5	41.0	28.7	40.0	29.4	
05/03/22 17:00	40.0	28.2	40.5	27.9	39.5	27.7	
05/03/22 18:00	38.4	27.8	39.0	27.2	38.1	27.5	
05/03/22 19:00	35.1	28.0	35.6	26.5	34.7	27.6	
05/03/22 20:00	31.5	28.4	31.7	27.1	30.9	27.8	
05/03/22 21:00	28.5	30.5	28.8	27.8	27.8	30.3	
05/03/22 22:00	25.4	32.2	25.3	30.4	24.3	31.1	
05/03/22 23:00	23.2	34.0	23.1	32.3	23.1	33.9	
05/04/22 0:00	21.1	35.4	20.8	33.7	21.1	35.3	
05/04/22 1:00	19.4	36.5	19.9	34.8	18.9	36.0	
05/04/22 2:00	18.1	37.6	17.6	35.7	17.6	37.3	
05/04/22 3:00	17.4	38.6	16.8	36.8	16.9	38.2	
05/04/22 4:00	16.8	39.6	16.2	37.8	16.5	39.0	
05/04/22 5:00	16.5	40.7	15.8	38.9	16.1	40.5	
05/04/22 6:00	16.1	41.6	15.3	39.9	15.5	40.5	
05/04/22 7:00	15.8	42.5	15.0	40.8	15.6	42.4	
05/04/22 8:00	15.5	43.6	14.7	41.8	14.4	43.6	
05/04/22 9:00	17.7	46.5	16.8	44.1	17.6	46.0	
05/04/22 10:00	22.4	47.6	21.6	45.6	22.3	47.3	
05/04/22 11:00	26.8	47.0	26.1	45.5	26.3	46.6	
05/04/22 12:00	30.9	45.5	30.3	44.0	30.4	44.9	
05/04/22 13:00	34.4	43.0	34.1	41.5	33.9	42.8	
05/04/22 14:00	37.9	40.6	37.2	39.6	36.7	39.5	
05/04/22 15:00	38.8	39.9	39.2	38.6	38.4	39.8	
05/04/22 16:00	39.1	37.8	39.6	36.9	38.5	37.8	
05/04/22 17:00	38.1	37.7	38.6	36.8	37.9	37.2	
05/04/22 18:00	37.1	37.1	37.5	36.1	36.8	36.8	
05/04/22 19:00	34.3	37.9	34.7	36.6	34.2	37.5	
05/04/22 20:00	31.4	39.0	31.6	37.8	31.3	38.4	
05/04/22 21:00	28.2	41.2	28.3	39.6	27.7	41.0	
05/04/22 22:00	25.8	42.9	25.8	41.4	25.3	41.8	
05/04/22 23:00	24.1	44.3	24.3	43.1	23.6	44.2	
05/05/22 0:00	22.9	45.8	22.7	44.6	22.6	45.7	
05/05/22 1:00	22.0	47.2	21.7	45.9	21.6	46.7	
05/05/22 2:00	21.0	48.3	20.7	47.1	20.4	48.0	
05/05/22 3:00	20.0	49.6	19.7	48.3	19.6	49.2	
05/05/22 4:00	19.3	50.8	18.8	49.5	18.2	50.2	
05/05/22 5:00	18.8	51.9	18.3	50.7	18.7	51.7	
05/05/22 6:00	18.3	52.9	17.7	51.6	18.2	51.8	
05/05/22 7:00	17.9	53.9	17.3	52.7	17.4	53.8	
05/05/22 8:00	17.7	55.0	17.1	53.8	17.2	55.0	
05/05/22 9:00	20.0	57.8	19.4	56.1	19.5	57.3	
05/05/22 10:00	24.0	58.1	23.2	56.8	23.7	57.8	
05/05/22 11:00	27.6	57.6	26.9	56.5	27.2	57.2	
05/05/22 12:00	31.1	56.0	30.6	55.2	30.5	55.4	
05/05/22 13:00	34.1	53.7	33.8	53.0	33.9	53.5	
05/05/22 14:00	36.4	51.3	36.4	50.8	35.3	50.2	
05/05/22 15:00	37.8	50.3	38.2	49.6	37.7	50.2	
05/05/22 16:00	38.6	47.5	39.6	46.8	38.5	47.4	
05/05/22 17:00	38.1	45.5	38.4	45.0	37.6	45.0	
05/05/22 18:00	36.6	44.3	36.9	43.7	36.1	44.0	
05/05/22 19:00	34.2	43.9	34.4	42.7	33.7	43.5	
05/05/22 20:00	30.8	43.5	30.9	42.4	30.5	42.9	
05/05/22 21:00	27.6	44.8	27.6	43.3	27.2	44.6	
05/05/22 22:00	25.2	45.7	25.1	44.5	24.6	44.6	
05/05/22 23:00	23.2	46.8	22.9	45.8	23.0	46.8	
05/06/22 0:00	21.7	48.1	21.8	47.2	21.6	48.1	
05/06/22 1:00	20.5	49.6	20.1	48.5	20.4	49.1	
05/06/22 2:00	19.6	51.1	19.2	49.9	19.5	50.8	
05/06/22 3:00	18.9	52.4	18.4	51.2	18.4	52.0	
05/06/22 4:00	18.4	53.7	17.9	52.5	17.9	53.1	
05/06/22 5:00	17.9	54.7	17.5	53.5	17.4	54.2	
05/06/22 6:00	17.5	55.6	16.8	54.5	17.2	54.5	
05/06/22 7:00	17.1	56.6	16.4	55.5	16.7	56.5	
05/06/22 8:00	17.0	57.7	16.3	56.5	16.4	57.6	
05/06/22 9:00	19.1	60.5	18.5	59.9	18.9	60.0	
05/06/22 10:00	23.2	61.1	22.4	60.0	22.1	60.8	
05/06/22 11:00	27.5	60.0	26.8	59.1	27.4	59.6	
05/06/22 12:00	31.4	57.7	30.8	56.9	31.4	57.1	
05/06/22 13:00	34.7	54.5	34.2	54.5	34.8	54.3	
05/06/22 14:00	36.8	51.1	36.8	51.0	36.3	50.0	
05/06/22 15:00	37.9	49.7	38.1	48.6	37.4	49.6	
05/06/22 16:00	38.0	47.4	38.3	46.1	37.7	47.3	
05/06/22 17:00	37.3	45.0	37.6	44.0	36.9	44.5	
05/06/22 18:00	35.8	43.5	36.4	42.4	35.2	43.2	
05/06/22 19:00	33.7	43.0	33.9	41.6	33.5	42.6	
05/06/22 20:00	30.5	43.1	30.6	41.8	29.4	42.5	
05/06/22 21:00	27.4	45.1	27.4	43.4	27.3	44.9	
05/06/22 22:00	25.3	46.6	25.2	44.8	25.3	46.5	
05/06/22 23:00	23.9	48.0	23.7	46.4	23.4	47.9	
05/07/22 0:00	22.5	49.4	22.3	48.0	22.0	49.3	



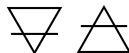
Configuración 2: Ambos módulos abiertos y un sistema pasivo abierto (Tubos subterráneos)

Fecha Tiempo, GMT-05:00	Módulo Testigo		Módulo Experimental		Micro estación	
	Temp. °C Testigo	HR % Testigo	Temp. °C Experimental	HR % Experimental	Temp. °C Microestación	HR % Microestación
05/10/22 1:00	22.0	72.6	22.0	72.4	23.0	73.6
05/10/22 2:00	20.7	74.2	20.6	73.5	21.8	74.5
05/10/22 3:00	20.2	75.7	20.1	75.4	21.5	75.9
05/10/22 4:00	19.9	76.9	19.7	76.7	20.7	77.1
05/10/22 5:00	19.4	76.2	19.2	76.1	19.9	75.0
05/10/22 6:00	19.1	75.7	18.8	75.9	19.8	75.0
05/10/22 7:00	18.6	74.8	18.3	75.1	19.8	74.9
05/10/22 8:00	18.1	76.2	17.8	76.6	19.7	76.2
05/10/22 9:00	21.2	82.5	21.0	83.0	22.2	83.5
05/10/22 10:00	25.9	69.0	25.3	70.6	27.0	69.0
05/10/22 11:00	29.7	56.3	29.1	58.3	31.0	45.6
05/10/22 12:00	33.3	46.9	32.7	49.1	34.1	38.6
05/10/22 13:00	36.3	37.3	36.0	39.6	36.8	33.4
05/10/22 14:00	39.0	33.7	39.0	35.4	39.7	30.9
05/10/22 15:00	40.7	31.2	40.9	31.8	41.9	32.1
05/10/22 16:00	40.8	33.8	41.3	34.1	41.1	41.8
05/10/22 17:00	39.6	35.2	40.1	35.2	39.9	42.9
05/10/22 18:00	37.5	37.4	38.1	36.5	39.1	41.5
05/10/22 19:00	34.8	41.1	35.8	39.8	36.6	43.7
05/10/22 20:00	31.9	45.5	32.2	44.2	33.0	52.4
05/10/22 21:00	29.0	53.4	29.2	52.0	30.3	62.3
05/10/22 22:00	27.3	59.1	27.4	57.7	28.1	66.8
05/10/22 23:00	25.8	63.0	25.8	62.3	26.3	71.9
05/11/22 0:00	24.7	65.8	24.7	65.4	25.4	73.5
05/11/22 1:00	23.3	67.6	23.3	67.1	24.5	74.5
05/11/22 2:00	22.3	70.6	22.2	70.6	22.6	74.7
05/11/22 3:00	22.0	72.0	21.9	72.8	22.3	81.0
05/11/22 4:00	22.4	80.3	22.3	79.6	24.0	87.1
05/11/22 5:00	22.6	81.8	22.4	81.9	23.6	86.5
05/11/22 6:00	22.6	84.1	22.4	84.7	23.7	87.4
05/11/22 7:00	22.2	83.4	21.9	84.4	23.5	88.6
05/11/22 8:00	21.7	83.9	21.4	85.2	22.5	88.1
05/11/22 9:00	22.5	82.2	22.1	83.9	23.0	74.5
05/11/22 10:00	26.4	71.8	25.6	74.7	27.1	46.1
05/11/22 11:00	29.7	58.3	28.6	63.8	30.9	36.4
05/11/22 12:00	33.2	49.9	32.0	55.3	33.5	35.9
05/11/22 13:00	35.9	41.7	34.7	46.9	36.2	30.6
05/11/22 14:00	38.2	38.7	37.0	43.1	39.8	32.7
05/11/22 15:00	38.9	33.6	37.7	38.9	39.9	31.6
05/11/22 16:00	39.1	29.9	38.1	33.1	40.2	32.0
05/11/22 17:00	38.5	29.5	37.8	32.4	39.8	31.4
05/11/22 18:00	37.4	32.9	37.0	34.7	38.2	35.5
05/11/22 19:00	35.0	38.1	35.0	38.7	35.5	44.7
05/11/22 20:00	31.9	41.8	31.8	42.5	32.6	48.7
05/11/22 21:00	29.2	47.0	29.2	47.2	30.4	49.4
05/11/22 22:00	27.4	50.1	27.3	50.4	27.7	48.6
05/11/22 23:00	25.4	54.6	25.3	54.9	25.7	61.4
05/12/22 0:00	23.7	60.3	23.6	60.9	25.3	64.3
05/12/22 1:00	23.3	64.4	23.1	65.1	24.3	62.9
05/12/22 2:00	24.1	63.8	23.8	65.0	25.2	61.9
05/12/22 3:00	24.7	64.8	24.5	66.0	26.0	62.8
05/12/22 4:00	24.6	67.7	24.3	68.5	25.4	70.5
05/12/22 5:00	24.1	67.8	23.9	68.7	24.6	66.7
05/12/22 6:00	23.2	71.1	22.9	71.8	23.9	74.8
05/12/22 7:00	22.5	74.4	22.2	74.9	23.7	75.1
05/12/22 8:00	22.8	73.9	22.4	75.1	23.1	68.1
05/12/22 9:00	24.3	74.5	23.8	74.4	24.6	59.6
05/12/22 10:00	28.8	60.6	28.1	63.3	30.4	49.1
05/12/22 11:00	31.9	49.5	31.2	52.2	32.9	42.3
05/12/22 12:00	35.5	41.2	34.8	42.7	36.6	34.6
05/12/22 13:00	38.2	35.0	37.8	37.8	39.5	30.0
05/12/22 14:00	40.1	32.4	40.1	33.6	40.9	33.7
05/12/22 15:00	41.0	30.2	41.2	31.4	41.5	31.0
05/12/22 16:00	41.0	29.4	41.2	29.5	41.7	31.7
05/12/22 17:00	39.3	29.8	39.9	29.9	40.5	32.2
05/12/22 18:00	37.3	31.5	37.7	31.2	37.6	34.0
05/12/22 19:00	34.9	34.3	35.4	33.6	35.2	39.9
05/12/22 20:00	32.0	38.6	32.3	37.9	33.6	43.4
05/12/22 21:00	29.2	44.8	29.4	43.6	30.2	48.3
05/12/22 22:00:00 PM	27.6	49.1	27.6	48.5	28.7	49.3
05/12/22 23:00:00 PM	25.9	51.3	25.9	51.6	27.2	56.6
05/13/22 00:00:00 AM	23.9	53.8	23.9	53.4	24.7	65.2
05/13/22 01:00:00 AM	22.7	61.6	22.6	61.7	23.2	67.5
05/13/22 02:00:00 AM	21.8	64.9	21.7	64.8	22.5	71.0
05/13/22 03:00:00 AM	21.2	67.0	21.0	67.0	22.4	75.3
05/13/22 04:00:00 AM	20.6	69.2	20.4	69.3	20.9	75.4
05/13/22 05:00:00 AM	20.3	71.3	20.0	71.4	20.6	75.6
05/13/22 06:00:00 AM	20.0	72.9	19.7	73.0	21.6	74.0
05/13/22 07:00:00 AM	19.7	74.5	19.4	74.7	20.7	74.4
05/13/22 08:00:00 AM	20.3	76.4	20.2	76.2	21.4	66.3
05/13/22 09:00:00 AM	24.0	70.7	23.7	71.3	25.3	53.0
05/13/22 10:00:00 AM	28.3	59.7	27.7	61.0	29.1	45.0
05/13/22 11:00:00 AM	31.7	50.3	31.2	51.8	32.2	39.0
05/13/22 12:00:00 PM	34.9	40.8	34.4	43.0	35.6	34.2
05/13/22 01:00:00 PM	37.9	34.4	37.5	36.3	39.1	31.9
05/13/22 02:00:00 PM	39.5	30.8	39.5	32.0	39.8	30.8
05/13/22 03:00:00 PM	41.3	28.3	41.4	28.9	41.6	27.9
05/13/22 04:00:00 PM	41.3	27.7	41.6	28.3	42.9	31.8
05/13/22 05:00:00 PM	40.3	28.6	40.6	28.9	41.3	31.2
05/13/22 06:00:00 PM	38.1	30.7	38.6	30.4	39.2	34.5
05/13/22 07:00:00 PM	35.7	35.2	36.2	34.2	37.0	39.6
05/13/22 08:00:00 PM	32.2	41.7	32.6	40.6	33.0	47.6
05/13/22 09:00:00 PM	29.2	51.7	29.5	49.9	29.7	59.0
05/13/22 10:00:00 PM	27.5	56.8	27.6	54.9	28.2	63.8
05/13/22 11:00:00 PM	26.5	60.6	26.5	59.1	27.7	68.1
05/14/22 12:00:00 AM	25.7	64.9	25.7	64.0	26.0	71.4
05/14/22 01:00:00 AM	25.1	69.5	25.0	68.1	25.4	72.8
05/14/22 02:00:00 AM	23.7	70.0	23.7	69.2	25.3	77.4
05/14/22 03:00:00 AM	22.4	72.8	22.4	72.0	23.4	77.7
05/14/22 04:00:00 AM	21.5	74.6	21.4	74.2	22.6	78.2
05/14/22 05:00:00 AM	21.1	75.9	20.9	75.7	22.4	78.4
05/14/22 06:00:00 AM	20.4	77.5	20.2	77.3	21.2	82.4
05/14/22 07:00:00 AM	19.9	79.6	19.8	78.5	20.4	82.9
05/14/22 08:00:00 AM	20.0	80.7	19.8	81.9	20.7	76.4
05/14/22 09:00:00 AM	23.6	76.0	23.1	76.6	24.8	62.3
05/14/22 10:00:00 AM	27.6	63.4	27.0	64.9	27.9	51.5
05/14/22 11:00:00 AM	31.6	51.7	31.0	54.4	31.9	41.5
05/14/22 12:00:00 PM	34.7	42.1	34.1	44.2	36.3	32.9
05/14/22 01:00:00 PM	37.0	35.0	36.6	36.5	38.0	33.7
05/14/22 02:00:00 PM	39.2	33.6	39.2	34.5	40.3	36.1
05/14/22 03:00:00 PM	39.7	34.4	39.8	34.9	41.0	37.3
05/14/22 04:00:00 PM	39.3	30.8	39.6	31.0	40.1	35.8
05/14/22 05:00:00 PM	38.3	31.2	38.7	31.2	38.8	37.9
05/14/22 06:00:00 PM	35.7	27.8	36.1	27.9	36.4	31.6
05/14/22 07:00:00 PM	34.0	32.6	34.3	31.9	35.2	34.5
05/14/22 08:00:00 PM	30.6	35.6	30.8	35.3	30.9	42.3
05/14/22 09:00:00 PM	29.3	51.5	28.8	52.0	29.6	45.5
05/14/22 10:00:00 PM	27.2	58.3	27.3	56.9	28.8	45.3
05/14/22 11:00:00 PM	26.3	61.6	26.3	60.8	27.3	47.9
05/15/22 12:00:00 AM	25.5	66.1	25.7	64.0	26.6	58.5

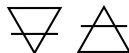


3

Configuración 3: Ambos módulos abiertos y un sistema pasivo abierto (Chimenea Solar)							
Fecha Tiempo, GMT-05:00	Módulo testigo		Módulo Experimental		Micro estación		
	Temp. °C Testigo	HR % Testigo	Temp. °C Experimental	HR % Experimental	Temp. °C Microestación	HR % Microestación	
05/15/22 01:00:00 AM	22.8	53.0	22.3	55.0	23.7	61.7	
05/15/22 02:00:00 AM	22.2	55.4	21.8	57.5	23.3	60.6	
05/15/22 03:00:00 AM	21.8	55.5	21.3	57.2	23.0	63.9	
05/15/22 04:00:00 AM	20.2	58.0	19.6	60.5	20.9	66.8	
05/15/22 05:00:00 AM	19.3	60.6	18.7	63.6	19.7	67.7	
05/15/22 06:00:00 AM	19.0	62.5	18.4	65.8	19.5	65.7	
05/15/22 07:00:00 AM	18.6	64.5	18.0	68.6	19.7	72.2	
05/15/22 08:00:00 AM	18.6	67.1	18.1	70.7	20.1	69.6	
05/15/22 09:00:00 AM	23.9	58.5	23.6	59.1	24.8	47.1	
05/15/22 10:00:00 AM	29.1	48.9	28.3	48.0	30.1	40.1	
05/15/22 11:00:00 AM	32.8	40.5	31.9	40.5	34.0	35.8	
05/15/22 12:00:00 PM	35.8	34.8	34.9	35.5	36.4	35.0	
05/15/22 01:00:00 PM	38.4	31.3	37.5	31.5	38.8	34.2	
05/15/22 02:00:00 PM	40.0	29.5	39.4	29.9	40.6	34.3	
05/15/22 03:00:00 PM	41.0	29.4	40.2	30.7	41.9	37.7	
05/15/22 04:00:00 PM	41.0	27.8	40.2	29.0	42.1	35.3	
05/15/22 05:00:00 PM	39.0	27.5	37.3	29.8	40.2	36.1	
05/15/22 06:00:00 PM	35.2	28.4	33.9	30.0	36.0	36.2	
05/15/22 07:00:00 PM	32.8	30.0	31.9	30.9	33.3	36.4	
05/15/22 08:00:00 PM	30.0	34.8	29.2	36.7	30.7	42.1	
05/15/22 09:00:00 PM	27.5	42.0	26.9	45.0	28.7	51.6	
05/15/22 10:00:00 PM	26.9	45.9	26.6	41.8	27.6	60.6	
05/15/22 11:00:00 PM	24.6	51.3	24.3	52.9	25.6	59.2	
05/16/22 12:00:00 AM	22.8	53.5	22.3	56.4	23.9	68.1	
05/16/22 01:00:00 AM	20.8	58.0	20.2	60.2	22.0	72.4	
05/16/22 02:00:00 AM	19.6	62.1	19.0	65.4	20.3	73.7	
05/16/22 03:00:00 AM	18.7	63.6	18.1	67.1	19.2	69.6	
05/16/22 04:00:00 AM	18.2	60.1	17.5	62.0	18.8	58.2	
05/16/22 05:00:00 AM	17.3	59.5	16.6	61.8	18.1	62.4	
05/16/22 06:00:00 AM	16.7	58.8	16.1	60.9	17.7	57.4	
05/16/22 07:00:00 AM	16.3	59.7	15.5	62.5	17.5	59.9	
05/16/22 08:00:00 AM	16.4	61.7	15.9	64.5	17.1	59.7	
05/16/22 09:00:00 AM	21.7	52.9	21.3	53.6	22.1	41.8	
05/16/22 10:00:00 AM	27.3	41.1	26.6	40.5	27.9	31.5	
05/16/22 11:00:00 AM	31.9	34.5	31.0	34.5	33.0	31.1	
05/16/22 12:00:00 PM	35.4	28.2	34.3	26.6	36.8	27.2	
05/16/22 01:00:00 PM	39.0	25.9	37.1	25.4	38.9	25.6	
05/16/22 02:00:00 PM	39.8	23.4	39.2	24.0	40.9	28.7	
05/16/22 03:00:00 PM	41.0	25.5	40.1	26.3	42.3	32.1	
05/16/22 04:00:00 PM	40.3	21.2	39.4	21.8	41.1	26.8	
05/16/22 05:00:00 PM	38.3	20.5	36.7	22.6	38.8	27.7	
05/16/22 06:00:00 PM	36.3	24.0	35.0	26.6	37.0	32.4	
05/16/22 07:00:00 PM	33.8	29.7	32.6	32.1	34.8	38.1	
05/16/22 08:00:00 PM	30.5	39.5	29.5	45.3	31.6	49.3	
05/16/22 09:00:00 PM	27.5	41.6	26.9	44.9	28.9	52.0	
05/16/22 10:00:00 PM	25.7	47.5	25.4	48.7	26.5	58.4	
05/16/22 11:00:00 PM	24.2	49.4	23.9	50.9	24.7	57.7	
05/17/22 12:00:00 AM	22.1	52.2	21.7	55.0	22.8	66.6	
05/17/22 01:00:00 AM	20.3	57.1	19.7	59.3	21.4	68.2	
05/17/22 02:00:00 AM	18.9	57.7	18.3	60.4	20.4	65.5	
05/17/22 03:00:00 AM	17.9	59.5	17.3	63.4	18.9	60.2	
05/17/22 04:00:00 AM	17.8	59.4	17.3	62.0	18.8	60.3	
05/17/22 05:00:00 AM	17.6	59.4	17.0	62.2	18.8	61.0	
05/17/22 06:00:00 AM	17.1	61.0	16.4	64.4	17.8	64.8	
05/17/22 07:00:00 AM	16.3	62.9	15.6	66.7	16.7	69.2	
05/17/22 08:00:00 AM	16.1	64.4	15.4	68.2	16.6	63.1	
05/17/22 09:00:00 AM	21.3	57.7	20.7	59.1	22.1	45.5	
05/17/22 10:00:00 AM	25.8	51.2	25.1	53.0	26.7	44.3	
05/17/22 11:00:00 AM	30.1	38.9	29.3	37.1	31.4	31.4	
05/17/22 12:00:00 PM	33.1	27.9	32.3	24.7	33.8	22.5	
05/17/22 01:00:00 PM	35.9	22.6	35.0	22.3	36.3	22.7	
05/17/22 02:00:00 PM	38.2	15.5	37.7	14.2	38.8	16.9	
05/17/22 03:00:00 PM	40.3	17.0	39.9	17.4	41.5	20.9	
05/17/22 04:00:00 PM	42.1	19.4	41.6	20.7	43.7	27.2	
05/17/22 05:00:00 PM	40.5	21.7	39.3	23.0	41.4	28.5	
05/17/22 06:00:00 PM	38.2	38.2	37.3	19.8	39.3	24.3	
05/17/22 07:00:00 PM	35.4	19.0	34.7	19.1	36.8	22.9	
05/17/22 08:00:00 PM	31.9	20.7	31.0	22.3	32.7	27.5	
05/17/22 09:00:00 PM	28.3	29.1	27.9	31.0	28.8	36.8	
05/17/22 10:00:00 PM	25.6	32.8	25.3	35.2	26.4	45.1	
05/17/22 11:00:00 PM	22.5	37.4	21.8	40.5	23.5	52.5	
05/18/22 12:00:00 AM	20.4	41.3	19.8	43.0	21.4	50.7	
05/18/22 01:00:00 AM	18.8	44.4	18.2	46.5	20.1	52.5	
05/18/22 02:00:00 AM	17.6	44.8	16.7	47.4	18.7	47.8	
05/18/22 03:00:00 AM	17.0	47.0	16.3	50.4	17.4	53.3	
05/18/22 04:00:00 AM	16.7	47.6	16.0	50.5	17.3	51.7	
05/18/22 05:00:00 AM	16.3	48.1	15.6	51.1	17.4	51.9	
05/18/22 06:00:00 AM	16.0	47.8	15.4	49.8	17.4	46.0	
05/18/22 07:00:00 AM	15.6	47.4	15.0	49.3	16.5	44.4	
05/18/22 08:00:00 AM	15.8	47.0	15.3	48.8	16.7	39.8	
05/18/22 09:00:00 AM	21.0	42.6	20.6	42.8	21.2	42.5	
05/18/22 10:00:00 AM	27.0	31.0	26.4	30.7	27.7	23.8	
05/18/22 11:00:00 AM	31.6	24.5	30.9	23.8	32.0	20.1	
05/18/22 12:00:00 PM	35.5	20.1	34.7	19.0	36.1	19.6	
05/18/22 01:00:00 PM	38.2	17.1	37.5	17.4	39.2	19.3	
05/18/22 02:00:00 PM	40.1	16.5	39.5	17.0	41.1	20.2	
05/18/22 03:00:00 PM	41.0	19.1	40.4	19.9	42.2	25.6	
05/18/22 04:00:00 PM	40.3	18.9	39.0	19.7	41.1	24.0	
05/18/22 05:00:00 PM	38.9	15.4	37.8	15.5	39.4	19.1	
05/18/22 06:00:00 PM	36.7	19.5	35.6	21.4	37.4	26.7	
05/18/22 07:00:00 PM	33.7	22.3	32.6	23.5	34.9	28.8	
05/18/22 08:00:00 PM	30.2	31.0	29.3	35.6	31.8	43.5	
05/18/22 09:00:00 PM	27.3	39.3	26.8	41.5	28.4	51.9	
05/18/22 10:00:00 PM	25.3	47.3	25.0	48.7	26.4	59.8	
05/18/22 11:00:00 PM	23.2	51.7	22.7	55.6	24.5	67.3	
05/19/22 12:00:00 AM	21.2	56.3	20.7	59.0	22.0	74.4	
05/19/22 01:00:00 AM	19.8	59.9	19.3	62.2	20.3	72.8	
05/19/22 02:00:00 AM	18.7	61.9	18.2	64.9	19.4	72.9	
05/19/22 03:00:00 AM	17.9	63.8	17.3	67.2	18.8	71.5	
05/19/22 04:00:00 AM	17.1	62.0	16.5	64.8	18.1	67.2	
05/19/22 05:00:00 AM	16.5	63.2	15.9	66.7	17.7	70.8	
05/19/22 06:00:00 AM	15.9	65.0	15.3	68.5	16.6	72.4	
05/19/22 07:00:00 AM	15.4	68.3	14.7	70.1	15.8	73.0	
05/19/22 08:00:00 AM	16.1	67.8	15.7	70.7	16.7	68.8	
05/19/22 09:00:00 AM	20.6	65.5	20.2	67.2	21.6	56.3	
05/19/22 10:00:00 AM	25.8	54.2	25.1	55.3	27.2	47.3	
05/19/22 11:00:00 AM	30.2	44.6	29.2	44.5	31.0	40.2	
05/19/22 12:00:00 PM	33.7	36.7	32.7	36.7	34.7	34.5	
05/19/22 01:00:00 PM	36.5	31.1	35.7	31.4	37.7	32.6	
05/19/22 02:00:00 PM	38.8	29.0	38.3	29.2	39.5	33.5	
05/19/22 03:00:00 PM	39.3	30.7	38.3	32.4	39.8	39.3	
05/19/22 04:00:00 PM	39.1	32.9	37.9	35.0	39.8	44.4	
05/19/22 05:00:00 PM	37.4	32.2	35.8	34.6	38.3	41.4	
05/19/22 06:00:00 PM	35.1	32.9	33.8	35.5	36.2	41.8	
05/19/22 07:00:00 PM	32.2	34.2	31.3	35.7	33.6	42.0	
05/19/22 08:00:00 PM	29.1	39.7	28.1	45.3	29.9	52.8	
05/19/22 09:00:00 PM	26.3	49.5	25.5	55.5	26.8	63.0	
05/19/22 10:00:00 PM	24.4	58.2	23.8	64.3	25.1	73.1	
05/19/22 11:00:00 PM	23.1	65.5	22.6	73.1	24.3	80.6	
05/20/22 12:00:00 AM	22.1	69.7	21.8	73.2	23.7	83.2	

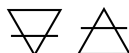


Configuración 4: Ambos sistemas pasivos abiertos						
Fecha Tiempo, GMT-05:00	Módulo testigo		Módulo Experimental		Micro estación	
	Temp. °C Testigo	HR % Testigo	Temp. °C Experimental	HR % Experimental	Temp. °C Microestación	HR % Microestación
05/20/22 01:00:00 AM	21.4	72.8	21.1	76.4	22.4	86.0
05/20/22 02:00:00 AM	21.3	74.5	21.0	78.2	22.4	86.0
05/20/22 03:00:00 AM	21.6	75.5	21.2	79.6	22.9	86.0
05/20/22 04:00:00 AM	21.1	76.2	20.7	78.3	21.9	88.2
05/20/22 05:00:00 AM	19.5	76.7	19.1	78.9	20.0	90.7
05/20/22 06:00:00 AM	18.8	78.5	18.2	81.0	19.5	88.6
05/20/22 07:00:00 AM	17.5	80.2	16.8	83.6	18.7	90.9
05/20/22 08:00:00 AM	17.0	81.8	16.4	86.5	18.6	89.1
05/20/22 09:00:00 AM	21.1	78.1	20.6	79.6	22.1	66.8
05/20/22 10:00:00 AM	25.3	65.8	24.2	67.5	26.4	56.1
05/20/22 11:00:00 AM	28.6	54.8	27.4	55.5	29.9	50.6
05/20/22 12:00:00 PM	31.7	44.1	30.5	44.8	32.5	42.2
05/20/22 01:00:00 PM	34.2	38.8	33.2	38.8	34.7	40.3
05/20/22 02:00:00 PM	36.6	32.1	35.9	31.9	37.6	34.1
05/20/22 03:00:00 PM	38.3	31.7	37.6	32.2	39.4	37.0
05/20/22 04:00:00 PM	38.8	31.3	38.1	32.3	40.6	39.8
05/20/22 05:00:00 PM	37.8	32.7	36.4	35.6	38.6	42.9
05/20/22 06:00:00 PM	36.2	35.2	34.7	38.0	36.7	46.1
05/20/22 07:00:00 PM	33.1	39.7	31.7	43.6	33.8	52.0
05/20/22 08:00:00 PM	29.6	46.3	28.6	49.9	29.4	60.5
05/20/22 09:00:00 PM	26.7	53.7	25.9	58.0	28.8	68.2
05/20/22 10:00:00 PM	24.8	59.4	24.4	61.4	25.8	72.6
05/20/22 11:00:00 PM	23.0	61.9	22.6	64.7	24.1	78.2
05/21/22 12:00:00 AM	21.9	69.2	21.7	71.9	23.2	79.3
05/21/22 01:00:00 AM	20.7	70.7	20.2	72.7	21.5	84.0
05/21/22 02:00:00 AM	19.5	72.9	19.0	76.5	20.0	87.8
05/21/22 03:00:00 AM	18.6	75.0	18.1	78.1	19.6	87.8
05/21/22 04:00:00 AM	17.8	78.0	17.3	81.1	18.9	90.1
05/21/22 05:00:00 AM	17.3	78.2	16.7	82.5	18.6	92.8
05/21/22 06:00:00 AM	16.8	79.7	16.2	84.3	17.6	92.4
05/21/22 07:00:00 AM	16.4	80.8	15.7	85.2	16.9	91.7
05/21/22 08:00:00 AM	16.4	82.9	15.4	88.5	17.1	84.0
05/21/22 09:00:00 AM	20.4	82.4	19.9	85.2	21.6	74.4
05/21/22 10:00:00 AM	25.0	72.9	24.3	73.8	26.6	63.3
05/21/22 11:00:00 AM	29.0	61.5	28.1	59.2	30.0	53.2
05/21/22 12:00:00 PM	32.5	51.1	31.5	50.2	33.6	46.9
05/21/22 01:00:00 PM	35.0	43.4	34.2	43.5	36.3	44.0
05/21/22 02:00:00 PM	37.1	40.7	36.5	41.1	37.9	46.8
05/21/22 03:00:00 PM	38.3	38.3	37.6	38.3	39.2	47.3
05/21/22 04:00:00 PM	38.1	37.5	37.3	39.2	39.1	47.3
05/21/22 05:00:00 PM	37.1	38.1	36.0	40.3	38.2	48.9
05/21/22 06:00:00 PM	35.4	40.5	34.0	43.5	36.7	50.8
05/21/22 07:00:00 PM	32.5	46.8	31.1	50.9	33.3	61.0
05/21/22 08:00:00 PM	29.5	52.7	28.4	58.0	30.1	70.3
05/21/22 09:00:00 PM	26.8	60.1	26.0	64.3	27.6	75.7
05/21/22 10:00:00 PM	25.2	65.5	24.6	69.1	26.9	79.0
05/21/22 11:00:00 PM	23.8	67.5	23.5	70.6	25.4	80.8
05/22/22 12:00:00 AM	22.1	70.4	21.7	72.6	23.1	84.2
05/22/22 01:00:00 AM	21.0	74.4	20.6	77.2	22.1	88.2
05/22/22 02:00:00 AM	20.2	76.5	19.8	79.8	21.5	87.9
05/22/22 03:00:00 AM	19.6	78.5	19.2	81.9	20.4	90.7
05/22/22 04:00:00 AM	19.2	79.7	18.7	84.0	19.7	90.7
05/22/22 05:00:00 AM	19.8	86.8	19.4	90.0	20.8	93.4
05/22/22 06:00:00 AM	21.5	83.8	21.1	86.7	22.6	90.1
05/22/22 07:00:00 AM	22.0	82.6	21.5	85.3	23.3	88.6
05/22/22 08:00:00 AM	21.6	81.3	21.1	84.0	22.4	86.0
05/22/22 09:00:00 AM	22.9	80.4	22.2	82.9	23.4	80.5
05/22/22 10:00:00 AM	26.1	71.7	25.0	74.1	26.9	67.9
05/22/22 11:00:00 AM	29.6	62.9	28.4	62.5	30.8	59.1
05/22/22 12:00:00 PM	32.7	53.6	31.6	54.5	34.3	52.2
05/22/22 01:00:00 PM	35.6	46.4	34.6	46.3	36.6	47.5
05/22/22 02:00:00 PM	37.8	40.1	37.2	39.1	38.9	43.8
05/22/22 03:00:00 PM	39.5	35.8	38.9	36.1	40.8	42.5
05/22/22 04:00:00 PM	39.8	36.2	39.0	37.4	40.7	45.7
05/22/22 05:00:00 PM	39.1	37.0	37.7	39.5	39.6	48.0
05/22/22 06:00:00 PM	37.0	40.0	35.7	42.8	38.0	52.8
05/22/22 07:00:00 PM	34.0	44.7	33.0	47.6	35.1	58.8
05/22/22 08:00:00 PM	30.4	50.2	29.2	56.2	31.8	66.6
05/22/22 09:00:00 PM	27.1	59.0	26.2	65.6	27.9	76.7
05/22/22 10:00:00 PM	25.0	64.9	24.5	69.4	25.6	80.8
05/22/22 11:00:00 PM	23.7	70.3	23.4	72.3	24.9	84.7
05/23/22 12:00:00 AM	22.9	75.1	22.5	74.4	24.1	87.5
05/23/22 01:00:00 AM	22.9	76.3	22.6	79.4	24.5	88.3
05/23/22 02:00:00 AM	22.9	76.4	22.5	79.2	23.9	87.3
05/23/22 03:00:00 AM	22.8	76.6	22.4	79.3	23.9	87.2
05/23/22 04:00:00 AM	22.8	76.7	22.4	78.8	24.1	85.7
05/23/22 05:00:00 AM	22.8	77.2	22.4	79.6	23.6	87.2
05/23/22 06:00:00 AM	22.7	78.3	22.1	81.5	23.2	86.3
05/23/22 07:00:00 AM	22.4	79.6	22.0	81.9	23.4	87.8
05/23/22 08:00:00 AM	22.5	79.4	22.1	81.4	23.6	84.3
05/23/22 09:00:00 AM	23.4	77.1	23.0	78.5	24.7	77.3
05/23/22 10:00:00 AM	25.7	72.5	25.1	73.0	26.5	65.6
05/23/22 11:00:00 AM	29.8	61.9	28.8	62.1	30.3	59.9
05/23/22 12:00:00 PM	33.2	51.0	32.0	51.1	33.9	50.5
05/23/22 01:00:00 PM	36.1	44.3	34.9	44.3	37.3	46.0
05/23/22 02:00:00 PM	38.1	38.5	37.5	39.5	39.7	43.8
05/23/22 03:00:00 PM	39.3	36.5	38.5	37.2	40.3	44.5
05/23/22 04:00:00 PM	38.6	34.3	37.9	35.3	40.7	44.2
05/23/22 05:00:00 PM	37.6	34.2	36.9	35.5	38.9	43.7
05/23/22 06:00:00 PM	35.9	37.2	34.5	40.0	36.7	47.7
05/23/22 07:00:00 PM	33.4	41.6	32.0	45.2	35.9	53.0
05/23/22 08:00:00 PM	30.0	48.3	29.0	52.2	30.8	62.0
05/23/22 09:00:00 PM	27.4	52.8	27.0	54.1	28.7	65.6
05/23/22 10:00:00 PM	25.5	57.8	25.2	58.6	28.1	70.6
05/23/22 11:00:00 PM	24.0	61.8	23.7	63.9	25.0	75.1
05/24/22 12:00:00 AM	22.8	70.2	22.5	73.5	23.9	82.5
05/24/22 01:00:00 AM	22.6	72.4	22.3	75.1	23.9	83.0
05/24/22 02:00:00 AM	21.2	75.0	20.8	75.1	22.0	88.2
05/24/22 03:00:00 AM	20.1	76.0	19.7	78.4	20.6	87.0
05/24/22 04:00:00 AM	19.4	77.0	18.9	80.1	20.4	87.1
05/24/22 05:00:00 AM	18.9	78.2	18.4	81.8	20.9	89.0
05/24/22 06:00:00 AM	18.7	79.7	18.2	83.5	20.4	88.4
05/24/22 07:00:00 AM	18.3	80.2	17.7	84.0	19.1	88.7
05/24/22 08:00:00 AM	18.5	81.9	18.1	86.2	19.0	88.3
05/24/22 09:00:00 AM	22.7	79.7	22.3	79.8	23.4	80.9
05/24/22 10:00:00 AM	27.2	65.6	26.6	66.0	28.4	53.2
05/24/22 11:00:00 AM	31.2	54.6	30.2	54.2	32.8	46.8
05/24/22 12:00:00 PM	34.2	45.3	33.1	45.0	35.2	42.5
05/24/22 01:00:00 PM	37.0	38.8	36.0	38.7	38.1	39.6
05/24/22 02:00:00 PM	38.9	34.4	38.2	34.5	40.2	39.5
05/24/22 03:00:00 PM	39.4	32.5	38.6	33.2	40.2	40.1
05/24/22 04:00:00 PM	38.5	35.8	37.5	35.5	39.5	44.8
05/24/22 05:00:00 PM	37.4	37.0	35.8	40.6	38.4	50.8
05/24/22 06:00:00 PM	34.6	42.8	32.9	47.4	36.7	56.8
05/24/22 07:00:00 PM	31.8	48.0	30.3	52.6	33.2	64.3
05/24/22 08:00:00 PM	28.5	54.7	27.5	60.2	29.4	73.0
05/24/22 09:00:00 PM	25.9	62.5	25.0	67.8	27.4	80.0
05/24/22 10:00:00 PM	24.6	67.8	24.1	74.0	25.4	80.9
05/24/22 11:00:00 PM	24.2	69.6	23.6	74.1	25.9	81.8
05/25/22 12:00:00 AM	24.0	70.8	23.5	74.1	25.6	81.7



Configuración 5: El Módulo de sistemas activos abiertos, pero cerrado la abertura.

Fecha Tiempo, GMT-	Módulo Testigo		Módulo Experimental		Micro estación	
	Temp. °C Testigo	HR % Testigo	Temp. °C Experimental	HR % Experimental	Temp. °C Microestación	HR % Microestación
05/25/22 01:00:00 AM	23.3	70.9	22.9	73.7	22.4	84.8
05/25/22 02:00:00 AM	21.3	72.7	20.8	75.6	22.4	87.4
05/25/22 03:00:00 AM	20.1	76.6	19.6	80.2	22.9	90.9
05/25/22 04:00:00 AM	19.5	78.8	19.1	82.6	21.9	90.3
05/25/22 05:00:00 AM	19.0	80.4	18.5	84.3	20.0	93.8
05/25/22 06:00:00 AM	18.7	80.8	18.2	84.1	19.5	89.1
05/25/22 07:00:00 AM	18.1	81.4	17.5	85.0	18.7	89.7
05/25/22 08:00:00 AM	18.0	82.6	17.5	85.8	18.6	87.4
05/25/22 09:00:00 AM	20.8	81.7	19.2	83.8	22.1	72.8
05/25/22 10:00:00 AM	25.3	67.9	22.8	85.3	26.4	57.8
05/25/22 11:00:00 AM	28.9	58.6	26.6	80.1	29.9	49.3
05/25/22 12:00:00 PM	33.2	46.8	30.8	72.4	32.5	42.0
05/25/22 01:00:00 PM	36.7	38.4	34.3	65.5	34.7	37.4
05/25/22 02:00:00 PM	38.7	36.2	36.7	55.6	37.6	42.1
05/25/22 03:00:00 PM	40.0	34.3	38.5	49.0	39.4	40.6
05/25/22 04:00:00 PM	40.3	33.2	39.6	42.7	40.6	42.1
05/25/22 05:00:00 PM	39.3	34.2	39.4	39.0	38.6	44.4
05/25/22 06:00:00 PM	37.9	34.7	38.6	37.7	36.7	43.6
05/25/22 07:00:00 PM	35.0	35.5	36.3	35.9	33.8	43.6
05/25/22 08:00:00 PM	31.7	42.2	33.1	38.1	32.7	54.2
05/25/22 09:00:00 PM	28.2	50.1	29.4	42.5	29.3	65.7
05/25/22 10:00:00 PM	26.0	56.1	26.8	46.8	27.3	69.2
05/25/22 11:00:00 PM	24.6	62.5	25.0	49.6	25.4	75.0
05/26/22 12:00:00 AM	23.4	66.0	23.6	52.4	23.9	78.3
05/26/22 01:00:00 AM	21.7	69.5	22.1	54.5	22.4	82.6
05/26/22 02:00:00 AM	20.5	72.4	20.9	56.4	21.7	85.9
05/26/22 03:00:00 AM	20.7	75.5	20.6	58.5	22.3	87.0
05/26/22 04:00:00 AM	20.3	77.6	20.3	60.3	21.3	88.0
05/26/22 05:00:00 AM	19.5	79.1	19.7	62.1	20.6	90.5
05/26/22 06:00:00 AM	20.0	81.1	19.9	63.6	21.3	90.9
05/26/22 07:00:00 AM	19.7	82.2	19.7	64.8	20.5	92.6
05/26/22 08:00:00 AM	19.1	82.5	19.2	66.2	19.6	91.5
05/26/22 09:00:00 AM	20.6	80.0	20.0	66.9	21.6	76.2
05/26/22 10:00:00 AM	24.6	71.8	22.9	68.3	25.7	60.8
05/26/22 11:00:00 AM	27.4	61.7	26.1	67.1	28.7	52.0
05/26/22 12:00:00 PM	30.8	54.7	29.5	63.2	31.6	47.5
05/26/22 01:00:00 PM	35.0	42.6	33.2	58.7	35.5	39.8
05/26/22 02:00:00 PM	39.1	34.9	37.7	51.5	39.8	34.0
05/26/22 03:00:00 PM	40.1	31.1	39.2	41.7	41.1	34.9
05/26/22 04:00:00 PM	39.8	34.8	39.5	39.2	40.9	45.2
05/26/22 05:00:00 PM	39.2	34.9	39.7	37.6	40.5	45.7
05/26/22 06:00:00 PM	37.5	37.0	38.5	37.4	38.3	47.9
05/26/22 07:00:00 PM	34.7	41.1	36.3	38.0	35.2	52.1
05/26/22 08:00:00 PM	31.1	47.3	32.7	41.5	31.8	61.6
05/26/22 09:00:00 PM	28.4	54.2	29.5	45.1	29.6	65.7
05/26/22 10:00:00 PM	26.8	57.5	27.4	47.5	28.4	68.3
05/26/22 11:00:00 PM	25.3	60.7	25.7	49.7	26.3	72.6
05/27/22 12:00:00 AM	23.5	64.9	24.1	51.8	24.6	78.7
05/27/22 01:00:00 AM	22.4	68.3	22.8	53.9	23.7	80.9
05/27/22 02:00:00 AM	22.5	74.4	22.6	56.2	23.3	84.5
05/27/22 03:00:00 AM	22.1	76.4	22.2	58.3	22.6	88.4
05/27/22 04:00:00 AM	21.5	78.3	21.6	60.4	22.5	90.0
05/27/22 05:00:00 AM	21.0	79.5	21.2	62.3	22.1	90.2
05/27/22 06:00:00 AM	21.1	80.3	21.1	63.7	22.4	81.7
05/27/22 07:00:00 AM	20.5	79.6	20.7	64.9	21.3	85.1
05/27/22 08:00:00 AM	20.1	81.0	20.2	66.0	21.6	84.3
05/27/22 09:00:00 AM	24.4	71.8	22.5	67.6	25.1	58.1
05/27/22 10:00:00 AM	29.4	57.5	26.7	67.3	30.4	45.6
05/27/22 11:00:00 AM	33.4	48.1	31.2	62.6	34.5	43.0
05/27/22 12:00:00 PM	37.0	38.5	35.0	54.7	38.3	35.7
05/27/22 01:00:00 PM	39.8	31.8	37.9	47.5	40.6	33.0
05/27/22 02:00:00 PM	41.6	29.8	40.2	40.2	42.1	34.8
05/27/22 03:00:00 PM	41.2	31.6	41.0	36.4	41.9	42.0
05/27/22 04:00:00 PM	39.9	32.1	40.9	34.3	41.1	42.7
05/27/22 05:00:00 PM	39.2	32.9	40.3	33.6	40.8	43.7
05/27/22 06:00:00 PM	36.8	37.1	38.6	34.6	37.8	49.6
05/27/22 07:00:00 PM	34.0	43.9	35.9	38.1	35.1	58.8
05/27/22 08:00:00 PM	30.9	48.1	32.7	41.6	32.2	62.7
05/27/22 09:00:00 PM	28.1	53.6	29.4	45.3	28.9	65.7
05/27/22 10:00:00 PM	26.4	60.9	27.2	48.9	26.9	73.3
05/27/22 11:00:00 PM	25.5	64.6	25.9	51.7	26.5	76.5
05/28/22 12:00:00 AM	24.7	68.4	24.9	54.6	25.8	79.9
05/28/22 01:00:00 AM	23.6	69.5	23.9	56.2	24.9	82.2
05/28/22 02:00:00 AM	22.7	73.2	22.9	58.1	23.5	83.5
05/28/22 03:00:00 AM	22.0	74.2	22.3	59.7	22.5	86.7
05/28/22 04:00:00 AM	21.3	76.2	21.5	61.3	22.0	87.7
05/28/22 05:00:00 AM	20.7	76.4	20.9	62.6	21.7	86.9
05/28/22 06:00:00 AM	20.0	77.6	20.3	63.9	21.1	86.2
05/28/22 07:00:00 AM	19.5	78.6	19.7	65.1	20.8	86.7
05/28/22 08:00:00 AM	19.6	80.2	19.5	65.8	20.4	82.4
05/28/22 09:00:00 AM	24.1	75.0	22.1	67.9	24.6	61.9
05/28/22 10:00:00 AM	28.9	62.2	26.6	67.3	29.6	53.1
05/28/22 11:00:00 AM	33.0	50.9	30.9	62.2	34.2	46.3
05/28/22 12:00:00 PM	36.4	42.1	34.4	54.9	38.0	41.6
05/28/22 01:00:00 PM	38.8	35.9	37.3	48.4	39.8	38.5
05/28/22 02:00:00 PM	40.6	33.1	39.5	42.5	41.7	39.1
05/28/22 03:00:00 PM	41.1	32.9	40.7	38.3	42.4	42.5
05/28/22 04:00:00 PM	40.7	32.2	41.0	35.7	41.5	41.6
05/28/22 05:00:00 PM	39.1	33.4	40.3	34.3	39.6	45.2
05/28/22 06:00:00 PM	36.3	38.0	38.3	35.3	37.3	51.2
05/28/22 07:00:00 PM	33.2	43.8	35.3	38.5	34.3	56.1
05/28/22 08:00:00 PM	30.4	50.6	32.1	43.0	31.7	67.5
05/28/22 09:00:00 PM	27.7	58.8	29.0	47.9	28.5	74.4
05/28/22 10:00:00 PM	26.1	63.7	27.0	51.9	26.6	77.5
05/28/22 11:00:00 PM	25.1	68.5	25.7	55.5	25.8	81.0
05/29/22 12:00:00 AM	24.9	71.0	25.2	57.9	25.9	81.3
05/29/22 01:00:00 AM	24.4	72.8	24.6	59.5	25.5	84.2
05/29/22 02:00:00 AM	23.0	73.3	23.4	61.0	24.3	87.3
05/29/22 03:00:00 AM	21.7	76.4	22.2	62.7	22.5	87.7
05/29/22 04:00:00 AM	20.9	78.7	21.2	64.2	21.4	90.8
05/29/22 05:00:00 AM	20.6	80.2	20.8	65.8	21.3	87.6
05/29/22 06:00:00 AM	19.2	79.7	19.9	67.0	21.4	87.5
05/29/22 07:00:00 AM	19.6	80.9	19.8	67.9	21.2	88.7
05/29/22 08:00:00 AM	19.8	81.9	19.7	68.7	20.8	85.2
05/29/22 09:00:00 AM	23.5	77.0	21.9	69.9	24.6	67.3
05/29/22 10:00:00 AM	26.7	69.1	25.0	70.2	28.0	61.6
05/29/22 11:00:00 AM	30.2	58.3	28.7	66.8	31.0	54.2
05/29/22 12:00:00 PM	33.6	45.3	32.1	59.9	34.1	42.8
05/29/22 01:00:00 PM	36.4	39.4	35.0	52.8	37.4	40.3
05/29/22 02:00:00 PM	39.0	34.8	37.8	45.7	40.1	38.2
05/29/22 03:00:00 PM	38.9	33.5	38.8	41.4	40.2	41.8
05/29/22 04:00:00 PM	39.0	33.8	39.2	38.3	39.8	42.0
05/29/22 05:00:00 PM	37.7	32.9	38.7	34.2	38.2	43.4
05/29/22 06:00:00 PM	35.7	37.7	37.3	35.6	36.4	50.3
05/29/22 07:00:00 PM	33.1	38.4	34.8	36.5	34.1	48.3
05/29/22 08:00:00 PM	30.3	48.4	31.9	41.4	31.4	64.1
05/29/22 09:00:00 PM	27.6	56.3	28.8	46.0	28.9	73.0
05/29/22 10:00:00 PM	25.9	63.0	26.9	50.4	26.7	75.6
05/29/22 11:00:00 PM	24.8	68.1	25.4	53.7	25.3	80.9
05/30/22 12:00:00 AM	23.8	70.8	24.1	56.1	24.5	82.6



6 Calibración de instrumentos

Calibración de Hobo's U12-02							
N.º	Referencia	Contraste	R ²	Ecuación de Corrección	σ	se	n
1	9910011	9910002	0.99	$y=0.9096x+2.3462$	1.44	0.08	288
2	9910011	9910003	0.99	$y=0.9064x-0.3578$	1.58	0.09	288
3	9910011	9910004	0.99	$y=0.9281x+1.7918$	1.81	0.11	288

