



Universidad Autónoma de Chiapas
Facultad de Arquitectura
Campus I



**SISTEMA AMBIENTAL PARA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO
DE INTERIORES PARA EDIFICIOS EN CLIMA CÁLIDO-SUBHÚMEDO**

T E S I S

Que para obtener el grado de
Maestro en Arquitectura y Urbanismo
Línea de Arquitectura Sustentable

PRESENTA:

Javier Ríos Álvarez D030086

Director de Tesis:
Dr. Gabriel Castañeda Nolasco

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Abril de 2024.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE ARQUITECTURA

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

PROGRAMA EDUCATIVO ACREDITADO POR ANPADEH 4TO. CICLO
GESTIÓN 2022-2026



DIRECCION:
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.,
Oficio DIR/No.271/2024.
19 de marzo del 2024.

ARQ. JAVIER RÍOS ÁLVAREZ

**Candidato a Maestro en Arquitectura y
Urbanismo de la Facultad de Arquitectura Campus I.
Presente.**

Apreciable: Arq. Ríos.

Por este medio, informo a usted que, después de haber sido revisado su Proyecto Terminal (tesis de grado) de Maestría denominado: **SISTEMA AMBIENTAL PARA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE INTERIORES PARA EDIFICIOS EN CLIMA CÁLIDO-SUBHÚMEDO** „por parte de la Comité Tutorial asignado para tal fin, los integrantes de la misma me han hecho llegar su voto aprobatorio y autorizan la impresión de este trabajo, bajo el formato que Usted decida, pero con atención a las normas mínimas de presentación con que cuenta esta facultad y que en su oportunidad le fueron entregadas.

Con fundamento en lo anterior, esta Dirección a mi cargo le autoriza **PROCEDER A LA IMPRESION DIGITAL DE SU TRABAJO**, que presentara con opción para Obtener el Grado de Maestro en Arquitectura y Urbanismo.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

**ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"**

**MTRO. MARGO ANTONIO MORENO DOMINGUEZ
DIRECTOR**



C.c.p. Archivo.
GCN/RTS/dpoc.





Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El suscrito **Javier Ríos Álvarez**, Autor de la tesis bajo el título de SISTEMA AMBIENTAL PARA MEJORA DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE INTERIORES PARA EDIFICIOS EN CLIMA CÁLIDO-SUBHÚMEDO. Presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de **Maestro en Arquitectura y Urbanismo**, línea de Arquitectura Sustentable, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 23 días del mes de abril del año 2024.

Javier Ríos Álvarez

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi esposa **Diana** por todo su apoyo incondicional, por estar a mi lado, ser mi compañera de vida y de clases, este esfuerzo lo vivimos y gozamos juntos. Te amo...

...A mi hija **Miranda** por su paciencia y esperarme para jugar, por ser mi motivación.
A mi hijo **Javier** por soportar mi ausencia y por darme fuerza en mis momentos débiles.
Mi cariño siempre con ustedes, los amo...

...A mi hermana **Ale** por siempre tomar mi mano y caminar conmigo en la vida, te amo...

...A mi director de tesis el **Dr. Gabriel Castañeda Nolasco** por su amistad, su enseñanza y siempre tener tiempo para guiarme dentro y fuera de las aulas, sobre todo por motivarme a ampliar mi visión con esta investigación...

...Al cuerpo académico de la maestría **Dr. Ruber Trujillo Samayoa, Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres, Dr. Carlos Octavio Cruz Sánchez**, por su amistad, su enseñanza y su guía...

...A mi amigo, paisano y colega **Luis Eduardo Sánchez Castillo** por su apoyo desinteresado y ayudarme con la simulación térmico dinámica en la tesis, proceso crucial en esta investigación...

...Al equipo del programa PIGA, **Dr. Carlos Ignacio López Calvo, Mtra. Claudia Olivia Ichin Gómez, Dr. Rogelio Josué Ramos Torres, Mtra. Lizzet Cecilia López bravo, Mtra. Crystel Sofia Díaz Díaz**, por su esfuerzo, dedicación y apoyo en mi investigación...

...A la Facultad de Arquitectura de Universidad Autónoma de Chiapas por formarme profesionalmente...

DEDICATORIAS

**A ti mi Goyita que siempre me viste con el título en la mano, sin dudar nunca de mí.
Se ha logrado, un abrazo eterno.**

ÍNDICE

ÍNDICE	6
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	3
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y CLIMA	10
JUSTIFICACIÓN	13
HIPOTESIS.....	14
OBJETIVO GENERAL.....	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1. CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO	16
1.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO.....	17
1.2 ESTADO DEL ARTE	19
1.2.1 PROYECTOS NACIONALES	20
1.2.2 PROYECTOS ESTATALES.....	22
1.2.3 CONCLUSIONES DEL ESTADO DEL ARTE	25
1.3 SUSTENTABILIDAD	27
1.3.1 CONCLUSIONES PARCIALES.....	29
1.4 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA	30
1.5 ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS	37
1.6 TERMODINÁMICA Y TRANSFERENCIAS DE CALOR.....	39
1.7 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN PASIVA.....	45
1.7.1 CONTROL DE ENFRIAMIENTO	46
1.7.2 MOVIMIENTO DEL AIRE	47
1.7.3 SISTEMAS PASIVOS PARA CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO	49
1.8 NMX-C-460-ONNCCE-2009	50

1.9 CRITERIO TEÓRICO	52
2. CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA	54
2.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO.....	55
2.2 METODOLOGÍA GENERAL DE REALIZACIÓN DE PROYECTOS	56
2.3 MÉTODO EDIFICIO TÉRMICAMENTE EQUILIBRADO DE VICTOR OLGYAY	58
2.4 INTEGRACIÓN DE LOS MÉTODOS, ETAPA DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	62
2.5 CONCLUSIÓN METODOLÓGICA.....	63
3. CAPÍTULO 3 DISEÑO DE PROPUESTA.....	64
3.1 INTRODUCCIÓN.....	65
3.2 UBICACIÓN DEL MÓDULO EXPERIMENTAL Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	66
3.3 APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA	68
3.4 FUNCIONAMIENTO INTEGRAL DEL SISTEMA AMBIENTAL.....	76
3.5 RESULTADO DEL DISEÑO.....	78
4. CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	81
4.1 EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO	82
4.2 DISCUSIÓN	100
4.3 CONCLUSIÓN.....	101
REFERENCIAS.....	103
ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Tabla de Confort Horario de Temperatura de Tuxtla Gutiérrez	7
Tabla 1.1 Resumen de Temperaturas Corporales Críticas.....	9
Tabla 02. Tabla de Clasificación de Sistemas de Enfriamiento Pasivo.....	46
Tabla 03. Valor R en Muros: 0.417 m ² °k/w.....	82
Tabla 04. Valor R en Losa: 0.318 m ² °k/w.....	83
Tabla 05. Zona Térmica de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.....	84
Tabla 06. Resistencia Térmica Total (Valor “R”) de Un Elemento de La Envolvente.....	84
Tabla 07. Valor R en Techo Verde: 1.56 m ² °k/w.....	85
Tabla 08. Valor R en Muros Con Aislante Térmico: 1.845 m ² °k/w.....	85
Tabla 09. Variación Anual de Temperatura del Aire Exterior.....	86
Tabla 10. Variación Anual de Temperatura del Aire Interior.....	86
Tabla 11. Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Marzo.....	87
Tabla 12. Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Abril.....	87
Tabla 13. Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Mayo.....	87
Tabla 14. Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Cálido.....	88
Tabla 15. Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Frio.....	89
Tabla 16. Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Cálido....	90
Tabla 17. Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Frio.....	91
Tabla 18. Comparación de Temperatura del Aire Interior en Periodo.....	92
Tabla 19. Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Marzo.....	93
Tabla 20. Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Abril	93
Tabla 21. Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Mayo.....	94
Tabla 22. Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Cálido.....	95
Tabla 23. Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Frio.....	96

Tabla 24. Comparación de Temperaturas Superficiales en Losa del Día Cálido.....	97
Tabla 25. Comparación de Temperaturas Superficiales en Muro Poniente del Día Típico Experimental Cálido.....	98
Tabla 26. Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior y Exterior del Día Típico Experimental Cálido.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fracc. Real del Bosque, Tuxtla Gutiérrez.....	5
Figura 2. Fracc. La Victoria, Tuxtla Gutiérrez.....	5
Figura 3. Atlas del Bioclima de México.....	6
Figura 4. Estados Unidos Mexicanos División Geoestadística Por Entidad Federativa.....	10
Figura 5. Prontuario de Información Geográfica Municipal.....	10
Figura 6. Mapas de Climas, Clasificación de Köppen, Tuxtla Gutiérrez (07101)	11
Figura 7. Normales Climatológicas de Tuxtla Gutiérrez.....	12
Figura 8. Diagrama del Marco Teórico.....	35
Figura 9. Mapa Conceptual de Las Transferencias de Calor	40
Figura 10. Los Mecanismos de Conducción de Calor	41
Figura 11. Transferencia de Calor de Una Superficie.....	42
Figura 12. Ejemplo de Enfriamiento de Un Por Convección forzada y Natural.....	42
Figura 13. Transferencia de Calor Por Radiación Entre Una Superficie.....	40
Figura 14. Interacciones Energéticas en La Superficie de Un Muro.....	44
Figura 15. Ejemplos de Movimientos de Vientos Horizontales.....	48
Figura 16. Ejemplos de Movimientos de Vientos Verticales.....	48
Figura 17. Diagrama de Clasificación de Sistemas de Climatización Cálido-Subhúmedo....	49
Figura 18. Esquema de Metodología General para Realización de Proyectos	56
Figura 19. Representación de los Campos Interrelacionados del Equilibrio Climático	59
Figura 20. Esquema de Integración de Métodos.....	62
Figura 21. Módulo experimental.....	66
Figura 22. Medidas de Módulo Experimental.....	67
Figura 23. Modelo de Celosía.....	68

Figura 24. Ejemplo de montaje en Ventana.....	69
Figura 25. Gráfica de Flujo Calórico Por Componentes.....	70
Figura 26. Ejemplo de Techo Verde.....	71
Figura 27. Detalle de Capas de Techo Verde.....	72
Figura 28. Ejemplo de Chimenea Solar.....	73
Figura 29. Detalle de Funcionamiento de Chimenea Solar.....	74
Figura 30. Detalle Aplicación de Acabado de Espuma en Muros.....	75
Figura 31. Módulo en Su Estado Actual.....	76
Figura 32. Implementación de Techo Verde.....	76
Figura 33. Implementación de Chimenea Solar.....	77
Figura 34. Implementación de Celosías.....	77
Figura 35. Isométrico de sistema Ambiental	78
Figura 36. Planta Módulo Experimental Intervenido.....	79
Figura 37. Resultado de Diseño de Experimental Intervenido	80
Figura 38. Zonas Térmicas de la República Mexicana.....	83

ÍNDICE DE ANEXOS

Tabla 1.1 Temperatura Superficial Exterior de Losa en Dia Típico Experimental Cálido.....	108
Tabla 2.1 Temperatura Superficial Interior de Losa en Dia Típico Experimental Cálido.....	108
Tabla 3.1 Temperatura Superficial Exterior de Muro en Dia Típico Experimental Cálido.....	109
Tabla 4.1 Temperatura Superficial Interior de Muro en Dia Típico Experimental Cálido	109
Tabla 5.1 Temperatura Superficial Interior de Losa en Dia Típico Experimental Cálido	110
Tabla 6.1 Temperatura Superficial Interior de Muro en Dia Típico Experimental Cálido	110
Figura 1.1 Temperatura Superficial Exterior Muro Poniente 56.86 °C Día 4-17 16:00 Hrs....	111
Figura 2.1 Temperatura Aire Interior 37.77 °C Día 4-17 19:00 Hrs	111
Figura 3.1 Temperatura Superficial Exterior Losa 57.50 °C Día 4-17 14:00 Hrs.....	112
Figura 4.1 Temperatura Superficial Interior Losa 47.55 °C Día 4-17 16:00 Hrs.....	112
Figura 5.1 Temperatura Superficial Interior Muro Poniente 40.97 °C Día 4-17 20:00 Hrs.....	113
Figura 6.1 Temperatura Aire Interior 33.47 °C Día 4-17 19:00 Hrs	114
Figura 7.1 Temperatura Superficial Interior Losa 32.27 °C Día 4-17 16:00 Hrs	114
Figura 8.1 Temperatura Superficial Interior Muro Poniente 32.74 °C Día 4-17 20:00 Hrs.....	115

RESUMEN

La mejora térmica en el interior de los edificios y su adaptación al medio es de vital importancia puesto que son los lugares donde el ser humano realiza la mayor parte de sus actividades cotidianas. De nuestro quehacer profesional depende proyectar espacios adecuados para satisfacer las necesidades del ser humano y otorgar mejoras en su habitabilidad. El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un sistema ambiental por medio de la simulación térmico dinámica de la envolvente, con el software EnergyPlus™ NMX-C-460-ONNCCE-2009, que integró componentes de climatización bioclimáticos pasivos como el techo verde para protección de radiación solar, celosía de efecto Venturi para ventilar por medio de vientos selectivos y chimenea solar para ventilación convectiva, así como aislantes en la envolvente para mejorar su capacidad térmico conductiva. El sistema se diseñó para mejorar el comportamiento térmico al interior de los edificios en el clima cálido-subhúmedo, caso de estudio, la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Esto con la finalidad de mejorar la habitabilidad en los mismos. La metodología que se adoptó para la realización de esta investigación fue la del enfoque general de la realización de proyectos propuesta por el Dr. Gabriel Castañeda Nolasco. En el proceso de evaluación, se empleó el método cuantitativo para la creación de edificios térmicamente equilibrados según lo propuesto por el autor Víctor Olgyay. El alcance de la experimentación se hizo por medio de la simulación de un módulo experimental, ubicado en la facultad de arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, empleando las normales climatológicas y tomado como medición la climatología dinámica que permitió medir y comparar la temperatura del aire interior y exterior del módulo experimental en tres periodos de tiempo, anual, temporada cálida de marzo a mayo y día típico experimental. De igual manera se hizo la comparación y contraste de medias superficiales de los componentes de la envolvente térmica. Los resultados de la simulación demuestran que el sistema ambiental propuesto logró mantener la temperatura durante todo el año en un rango de confort horario de temperatura basado en las tablas de Mahoney adaptadas para la ciudad a la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, lo que confirma su efectividad para mejorar el comportamiento térmico en el interior de los edificios y de esta manera impactar en la habitabilidad de forma más comfortable.

PALABRAS CLAVE: Comportamiento térmico interior, bioclimatismo, sistema ambiental y simulación termodinámica.

ABSTRACT

Thermal improvement inside buildings and their adaptation to the environment is of vital importance since they are the places where individuals carry out most of their daily activities. It is up to our professional work to design adequate spaces to satisfy the needs of human beings and provide improvements in their habitability. The main objective of this work was to develop an environmental system through dynamic thermal simulation of the envelope, with the EnergyPlus™ NMX-C-460-ONNCCE-2009 software, which integrated passive bioclimatic air conditioning components such as the green roof for protection of solar radiation, a Venturi effect lattice to ventilate through selective winds and a solar chimney for convective ventilation, as well as insulators in the envelope to improve its thermal conductive capacity. The system was designed to improve the thermal behavior inside buildings in a warm-subhumid climate, case study, the city of Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico. This with the purpose of improving habitability in them. The methodology that was adopted to carry out this research was that of the general approach to carrying out projects proposed by Dr. Gabriel Castañeda Nolasco. In the evaluation process, the quantitative method was used to create thermally balanced buildings as proposed by the author Victor Olgyay. The scope of the experimentation was done through the simulation of an experimental module, located in the faculty of architecture of the Autonomous University of Chiapas, using climatological normals and taking dynamic climatology as a measurement that allowed measuring and comparing air temperature. interior and exterior of the experimental module in three time periods, annual, warm season from March to May and typical experimental day. The simulation results demonstrate that the proposed environmental system managed to maintain the temperature throughout the year in a range of hourly temperature comfort based on the Mahoney tables adapted for the city of Tuxtla Gutiérrez, which confirms its effectiveness for improve the thermal behavior inside buildings and thus impact habitability in a more comfortable way.

KEYWORDS: Indoor thermal behavior, bioclimatism. environmental system and thermodynamic simulation.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfoca en el desarrollo de un sistema ambiental destinado al control de la mejora térmica del aire interior de los edificios, el cual es influenciado por los efectos por la envolvente y los materiales que lo componen. Se propone la propuesta de ecotécnicas de funcionamiento pasivo que generen la inducción de vientos y protección solar, específicamente diseñadas para el clima cálido subhúmedo. Basándose en los principios de la arquitectura bioclimática, y tomando al hombre como medida central en la arquitectura. Que se desarrolla en el capítulo 1, Además, se emplean los términos clave que respaldan la investigación, tales como sustentabilidad y transferencias de calor a través de la envolvente arquitectónica.

La viabilidad del estudio surge por la necesidad de coadyuvar al bienestar físico y psicológico del hombre en los espacios que habita. Las mediciones realizadas en el interior de los edificios que demuestran que el calentamiento al interior de las viviendas sale de los rangos de confort térmico establecidas según las cartas Bioclimáticas. Esta situación, al no cumplir este rango de confort se genera el síndrome de estrés térmico en las personas, causando daños a la salud e improductividad.

El caso de estudio se lleva a cabo en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, empleando dos módulos de experimentación y control, uno de los cuales servirá como testigo y el otro como módulo experimental con el sistema ambiental propuesto, instalados en la facultad de arquitectura campus 1 de la Universidad Autónoma de Chiapas.

La metodología adoptada sigue el enfoque general de la realización de proyectos propuesta por el Dr. Gabriel Castañeda Nolasco. En el proceso de evaluación, se emplea el método cuantitativo para la creación de edificios térmicamente equilibrados según propuesto por el autor Víctor Olgyay (1998). Desarrollado en cuatro etapas de evaluación y detallado en el capítulo 2.

El capítulo lo 3 se enfoca a la etapa de diseño del módulo de experimentación, así como los procesos constructivos y se detallan los beneficios de los sistemas ambientales empleados en el modelo de simulación y porque estos son importantes de emplear en la construcción sostenible.

Los análisis de los resultados ya la comparación del comportamiento térmico del módulo experimental se presenta en el capítulo 4. En este capítulo se hace el análisis de la evaluación termodinámica de la envolvente, con el software EnergyPlus™ NMX-C-460-ONNCCE-2009, que integró componentes de climatización bioclimáticos pasivos desarrollados en la etapa de diseño.

Finalmente se presentan los resultados de la simulación y el análisis de los mismos presentados por medio de gráficas de temperaturas tomando en cuenta la variación de temperatura en sus distintos horarios de manera anual. Demostrando que la simulación del sistema ambiental es efectiva puesto que logra mantener una temperatura constante confortable durante la mayor parte del año mejorando su comportamiento térmico al interior, así como la comparación de efectividad de temperaturas superficiales exterior e interior de la envolvente del módulo experimental.

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional que ha experimentado la ciudad de Tuxtla Gutiérrez provoca la expansión de la mancha de concreto urbana, debido al incremento de construcciones para satisfacer la habitabilidad de población. Ésta práctica de construcción en masa o estandarizada, en su mayoría carentes de estrategias bioclimáticas ha provocado el aumento en la temperatura del microclima de la ciudad en general. A su vez “el sector de la construcción es responsable de un tercio del consumo de recursos [no renovables], incluyendo el 12% del consumo total de agua dulce, y produce hasta un 40% de nuestros residuos sólidos”. (Morillón et al., 2015, p.1.)

El giro de la construcción de más demanda en Tuxtla Gutiérrez es la vivienda, por tanto son las construcciones de más interés de esta investigación, de ellas emanan la mayor radiación solar y por su sistema constructivo de losa maciza de concreto armado de 10 cm de espesor en la mayoría de los casos, estos materiales tienen características termo físicas almacenan energía radiante, basado en las mediciones presentadas en el estado del arte, las losas han presentado temperaturas de hasta 45°C en su superficie, cuando la temperatura exterior es de 37°C. (Castañeda et al., 2010)

Figura 1

Fracc. Real del Bosque, Tuxtla Gutiérrez



Figura 2

Fracc. La Victoria, Tuxtla Gutiérrez

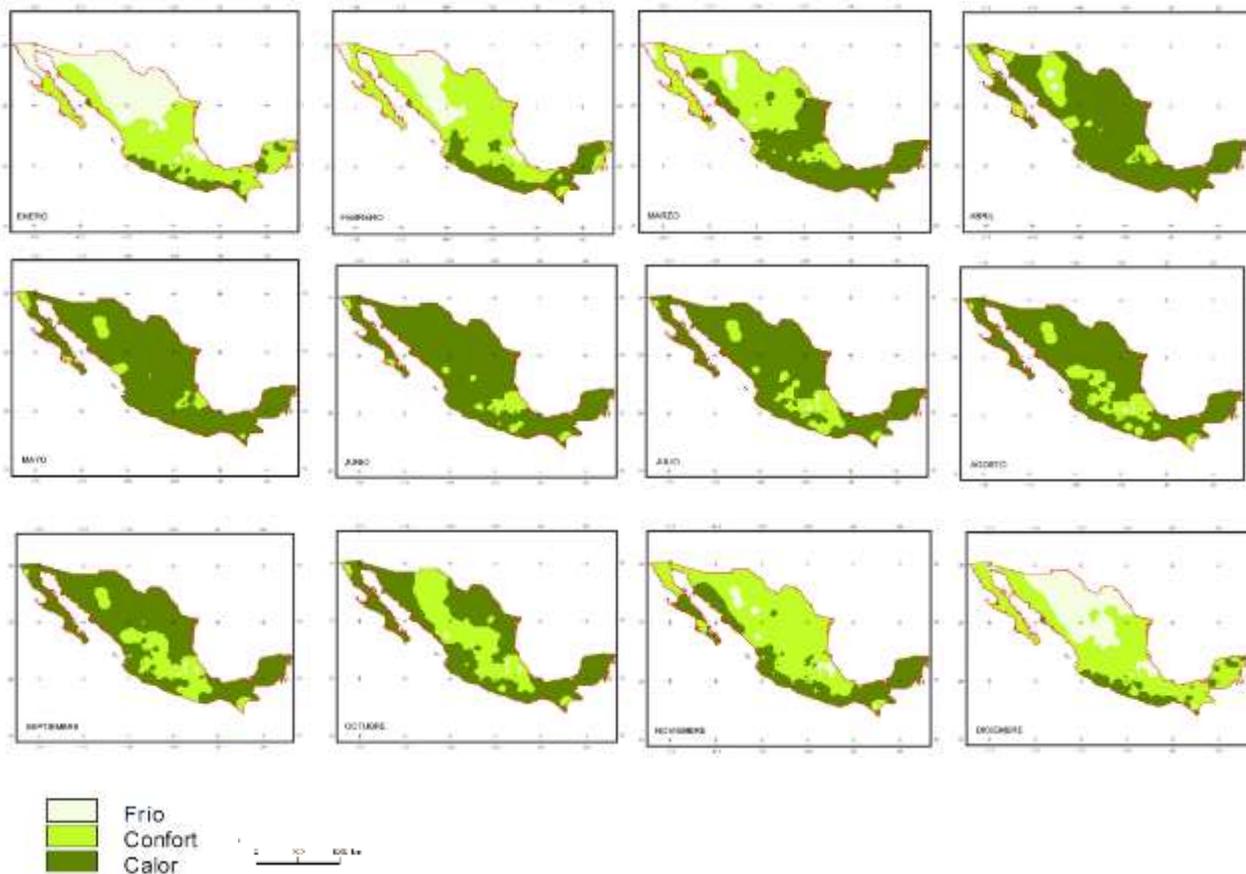


Nota: Ejemplo de construcción estandarizada y crecimiento de mancha de concreto en nuevos fraccionamientos de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

El aumento de temperaturas en la ciudad puede analizarse a través de las conclusiones realizadas de la comparación dos métodos de mediciones mensuales: el primero, Atlas del bioclima de México, 2004, por el Dr. David Morillón Gálvez, Figura 3. El segundo, la adaptación de las tablas de análisis del clima de Mahoney, 2008, por el Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres, Figura 4. Se puede afirmar que en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez predomina el clima caluroso en 10 de los 12 meses del año. Como se demuestra en las siguientes ilustraciones de la figura 3.

Figura 3

Atlas del Bioclima de México



Nota: Fuente: Atlas del bioclima de México: (Morillón, 2004, p.31-43.)

Tablas de análisis del clima de Mahoney: (Ruiz, 2008). Se detalla el confort horario de temperatura que presenta Tuxtla Gutiérrez, en la cual se expone que las horas de frío en el día, se dan en la noche y madrugada, el resto del día hay un alza de calor fuera de los rangos de confort térmico. Dichos datos son retomados de las normales climatológicas, periodo: 1981-2010 estación: 00007176.

Tabla 1

Tabla de Confort Horario de Temperatura de Tuxtla Gutiérrez,

Confort horario °C												
Hora (TSV)	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
00:00	19.8	20.5	21.8	23.9	24.8	23.9	23.0	23.0	23.0	22.7	21.7	20.3
01:00	19.1	19.9	21.1	23.3	24.2	23.5	22.5	22.6	22.6	22.2	21.2	19.7
02:00	18.5	19.3	20.5	22.8	23.7	23.1	22.2	22.2	22.2	21.8	20.7	19.2
03:00	18.1	18.8	20.0	22.3	23.4	22.8	21.8	21.8	21.9	21.5	20.3	18.8
04:00	17.7	18.4	19.6	21.9	23.0	22.5	21.6	21.6	21.6	21.2	19.9	18.4
05:00	17.4	18.1	19.3	21.6	22.8	22.3	21.4	21.3	21.4	21.0	19.7	18.1
06:00	17.2	17.9	19.0	20.5	21.9	21.7	20.7	20.5	20.6	20.8	19.4	17.9
07:00	16.5	17.4	19.0	22.0	23.6	23.3	22.2	21.8	21.4	20.6	18.9	17.2
08:00	18.5	19.8	21.9	25.1	26.6	25.8	24.7	24.2	23.4	22.4	20.7	19.0
09:00	21.6	23.2	25.6	28.7	29.8	28.5	27.3	26.9	25.9	24.9	23.6	21.9
10:00	24.8	26.5	29.1	31.8	32.5	30.7	29.4	29.2	28.1	27.3	26.4	24.8
11:00	27.3	29.0	31.6	34.1	34.3	32.1	30.8	30.8	29.7	29.1	28.6	27.2
12:00	29.0	30.7	33.2	35.3	35.3	32.8	31.5	31.7	30.6	30.3	30.1	28.8
13:00	29.8	31.4	33.7	35.7	35.4	32.9	31.6	31.9	31.0	30.7	30.8	29.6
14:00	29.9	31.3	33.5	35.3	35.0	32.5	31.3	31.6	30.8	30.7	30.8	29.7
15:00	29.4	30.7	32.8	34.4	34.2	31.8	30.6	30.9	30.2	30.2	30.3	29.3
16:00	28.5	29.7	31.6	33.3	33.1	30.8	29.7	30.0	29.5	29.4	29.5	28.4
17:00	27.3	28.5	30.2	31.9	31.8	29.8	28.7	29.0	28.5	28.5	28.5	27.4
18:00	26.1	27.1	28.7	30.5	30.6	28.7	27.6	27.9	27.6	27.5	27.4	26.2
19:00	24.8	25.8	27.3	29.1	29.3	27.7	26.6	26.9	26.6	26.5	26.2	25.0
20:00	23.6	24.5	25.9	27.8	28.2	26.8	25.7	25.9	25.7	25.6	25.1	23.9
21:00	22.5	23.3	24.7	26.7	27.2	25.9	24.9	25.0	24.9	24.7	24.1	22.9
22:00	21.4	22.3	23.6	25.6	26.2	25.2	24.2	24.3	24.2	24.0	23.2	21.9
23:00	20.5	21.3	22.6	24.7	25.5	24.5	23.5	23.6	23.6	23.3	22.4	21.1

Frío		< 24.3
Confort		Tn ± 2.5
Calor		> 29.3
Tn= 26.8		

Nota: Fuente: (Ruiz, 2008) Adaptación de tablas de Mahoney.

Por los medios que fuesen todos los individuos necesitamos un espacio donde desarrollar nuestras actividades cotidianas, la manera más común de realizarlas es por medio de la vivienda. Se ha demostrado que, en la mayoría de los casos, las viviendas no cuentan con estrategias para mitigar el estrés térmico derivado de la radiación solar y la temperatura del aire al exterior que afectan a las mismas (Trujillo, 2015). Al no tener estrategias de sombreadamiento o algún sistema pasivo similar de enfriamiento, las temperaturas al interior de las viviendas oscilan en temperaturas mayores a los 30°C permanentes en periodos de 12 horas a partir del mediodía, esto quiere decir que se presente un confort térmico hasta horas de madrugada, sin haber ya presencia solar, la radiación del mismo sigue presente hasta horas después de su puesta. (Ruiz et al., 2011)

Es por ello que el problema de calentamiento al interior de las viviendas demanda mayor atención, éste incremento en la temperatura sale de los rangos de confort térmico según la carta Bioclimática de Víctor Olgyay, que van de 22°C a los 28°C, (Olgyay, 1998), al no cumplir este rango de confort se genera el síndrome de estrés térmico en las personas y causando daños a la salud. El organismo humano realiza ajustes esenciales para conservar su temperatura interna dentro de los límites apropiados (Monroy y Luna, 2011) cuando se experimenta estrés térmico, el cuerpo responde con una sobrecarga de calor de manera fisiológica. Una exposición a niveles medios o moderados de estrés térmico puede interferir en la realización de actividades laborales diarias. Sin embargo, cuando estos niveles se acercan a los límites que el cuerpo humano puede tolerar, se incrementa el riesgo de sufrir problemas relacionados con el calor, incluyendo, incluyendo olas de calor, estrés por calor, calambres, agotamiento, golpes de calor e hipertermia. (Piñero, 2004)

Por otra parte, los autores Auliciems y Szokolay (1997) clasificaron el rango de temperatura superficial de la piel y temperatura corporal profunda, detallando que “La piel siempre debe estar a una temperatura inferior a la temperatura profunda del cuerpo, y el ambiente debe estar por debajo de la temperatura de la piel, para permitir una disipación de calor adecuada, pero no excesiva” (Auliciems y Szokolay, 1997, p. 7). Y exponen un resumen de las temperaturas corporales críticas en la siguiente tabla 2:

Tabla 2

Resumen de Temperaturas Corporales Críticas.

TEMPERATURAS CORPORALES CRÍTICAS (UNA GUÍA APROXIMADA)		
Temperatura de la piel	Temperatura corporal profunda	Zona regulatoria
Dolor	45°C	42°C
		Muerte
		40°C
		Hipertermia zona de evaporación vasodilatación
	31-34°C	37°C
		comodidad
		vasoconstricción termogenesis hipotermia
		35°C
Dolor	10°C	25°C
		Muerte

Nota: Fuente: Traducida de los autores (Auliciems y Szokolay, 1997, p. 7)

Finalmente, las proyecciones futuras del problema actual basadas en el incremento en las temperaturas distan de ser alentadoras, por el contrario, el estudio realizado por Tejeda y Rivas, (2002) que se basa en modelos de simulación climática de circulación general, revela que para el año 2020 México tenga un incremento de 2°C de temperatura. Para el caso de Tuxtla Gutiérrez, entre otras ciudades de rápido desarrollo en el país, se proyecta un incremento de temperatura en el efecto denominado isla urbana de calor la cual se manifiesta en tamaño proporción directa al crecimiento de las urbes. Esto resultará en un aumento de la frecuencia, duración e intensidad de las condiciones que provocan estrés térmico en las personas. Se prevé que la demanda de sistemas de enfriamiento se quintuplicará con respecto a la actualidad y habrá un incremento del 100% de las emisiones de dióxido de carbono.

ANÁLISIS GEOGRÁFICO Y CLIMA

Según el Marco Geoestadístico 2010 que publica el INEGI, Tuxtla Gutiérrez, capital del estado, se localiza en la región socioeconómica I Metropolitana del estado de Chiapas. “El estado de Chiapas se localiza al sureste de México; colinda al norte con el estado de Tabasco, al oeste con Veracruz y Oaxaca, al sur con el Océano Pacífico y al este con la República de Guatemala”. (Perfiles,2015)

Figura 4

Estados Unidos Mexicanos División Geoestadística Por Entidad Federativa.

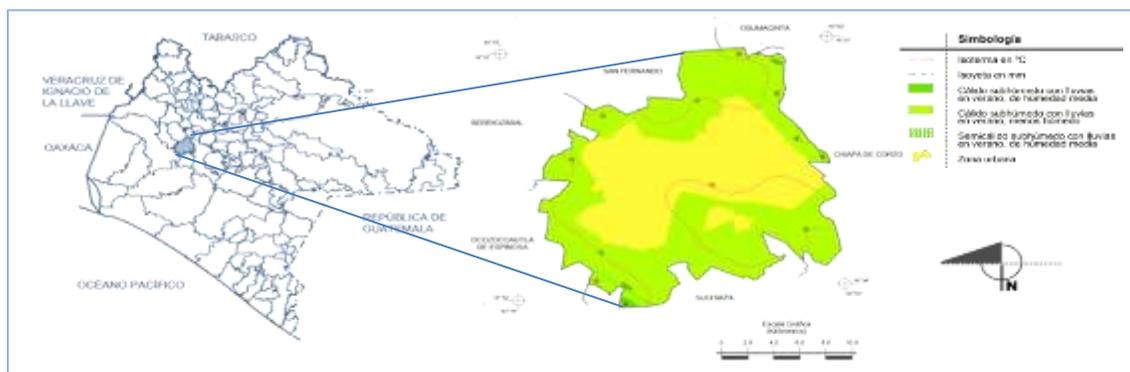


Nota: Fuente: INEGI. Principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015. Chiapas.

La ubicación geográfica de Tuxtla Gutiérrez “se localiza entre los paralelos 16°38’ y 16°51’ de latitud norte; los meridianos 93°02’ y 93°15’ de longitud oeste; altitud 522 metros sobre el nivel del mar (MSNM)”. (INEGI,2016)

Figura 5

Prontuario de Información Geográfica Municipal de Los Estados Unidos Mexicanos, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

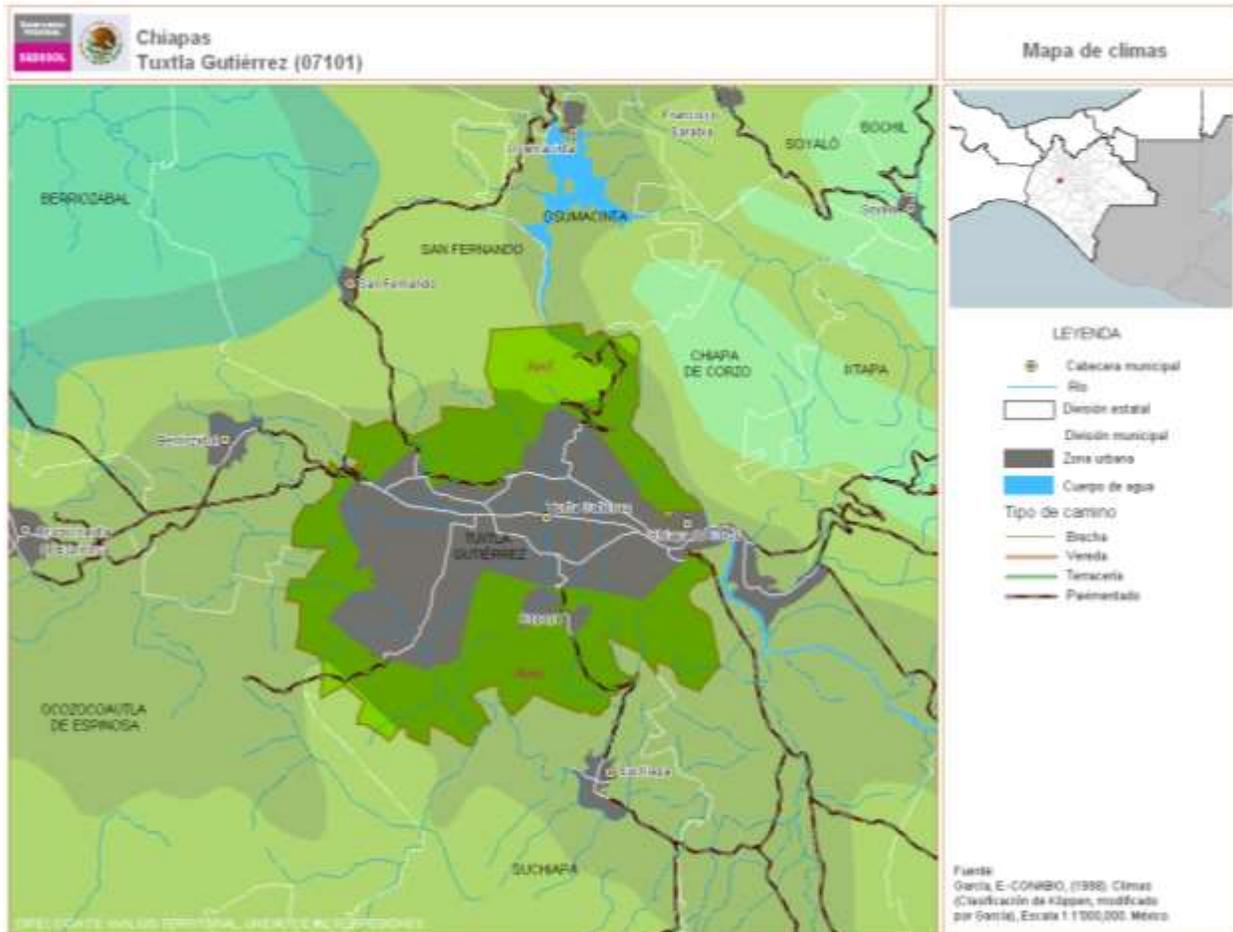


Nota: Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1.

Según la clasificación del clima de Köppen-Geiger, modificada por Enriqueta García, Tuxtla Gutiérrez tiene un clima predominante en el 92.39% de la superficie municipal con la clasificación Awo. Esta clasificación se denomina como clima Cálido subhúmedo. (García, 1998)

Figura 6

Mapas de Climas, Clasificación de Köppen, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (07101).



Nota: Fuente: (García, 1998)

[.http://www.microrregiones.gob.mx/zap/zapmapas/climas2011/c07101.gif](http://www.microrregiones.gob.mx/zap/zapmapas/climas2011/c07101.gif)

De acuerdo a las Normales Climatológicas consultadas en el Servicio Meteorológico Nacional la temperatura promedio para la ciudad de Tuxtla Gutiérrez es de 26.1°C, llegando a temperaturas máximas de hasta 42°C en los meses de marzo, abril y mayo.

Figura 7
Normales Climatológicas de Tuxtla Gutiérrez

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL													
NORMALES CLIMATOLÓGICAS													
ESTADO DE: CHIAPAS													
ESTACION: 00007176 TUXTLA GUTIERREZ (CPE)													
LATITUD: 16°45'42" N.													
LONGITUD: 093°06'10" W.													
ALTURA: 532.0 MDSM.													
PERIODO: 1981-2010													
ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA MAXIMA													
NORMAL	30.7	31.9	33.9	35.4	35.4	33.3	32.4	32.3	31.7	31.2	31.3	30.6	32.5
MAXIMA MENSUAL	33.2	35.0	37.5	38.4	38.1	37.4	36.5	34.9	34.6	33.5	33.0	32.4	
AÑO DE MAXIMA	1991	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	2007	1990	1990	1987	
MAXIMA DIARIA	37.5	39.0	42.0	42.0	42.0	41.0	39.0	38.5	37.0	43.0	37.5	38.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	10/1991	19/1991	26/1991	13/2007	04/2007	05/1993	01/2007	03/2007	03/2007	25/1986	27/1990	22/1990	
AÑOS CON DATOS	17	17	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	
TEMPERATURA MEDIA													
NORMAL	23.3	24.4	26.1	28.2	28.9	27.7	27.0	26.9	26.6	25.8	25.0	23.8	26.1
AÑOS CON DATOS	17	17	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	
TEMPERATURA MINIMA													
NORMAL	16.0	16.9	18.4	21.0	22.3	22.2	21.5	21.4	21.6	20.5	19.7	17.0	19.8
MINIMA MENSUAL	12.0	12.8	12.8	14.6	20.4	20.9	20.2	19.2	19.7	17.8	14.9	14.0	
AÑO DE MINIMA	1987	1986	1986	1986	1987	1986	1986	1985	1985	1987	1987	1987	
MINIMA DIARIA	6.0	9.0	8.5	8.0	13.0	17.5	17.0	3.2	18.0	12.0	11.0	9.0	
FECHA MINIMA DIARIA	29/1986	10/1987	15/1986	07/1994	04/1987	02/1986	27/1985	31/1993	09/1985	29/1987	25/2006	20/1988	
AÑOS CON DATOS	18	18	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	
PRECIPITACION													
NORMAL	2.2	2.9	3.6	11.6	108.6	214.4	197.1	208.7	182.0	59.6	10.2	2.1	1,003.0
MAXIMA MENSUAL	30.0	38.0	42.7	56.5	265.7	413.0	260.9	425.0	363.5	205.7	42.5	10.0	
AÑO DE MAXIMA	1999	1983	1983	1994	2004	1994	2008	1995	1989	1982	1985	1990	
MAXIMA DIARIA	30.0	20.7	27.3	30.2	121.0	98.0	72.5	66.5	87.5	60.0	31.0	8.0	
FECHA MAXIMA DIARIA	01/1999	25/1983	14/1983	20/1982	30/1984	27/1993	21/1994	06/1995	20/1989	03/1982	01/1992	29/1982	
AÑOS CON DATOS	18	18	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	
EVAPORACION TOTAL													
NORMAL	128.8	143.0	194.3	203.3	194.5	146.3	147.0	144.0	122.0	119.5	115.1	114.2	1,772.0
AÑOS CON DATOS	17	17	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	
NUMERO DE DIAS CON LLUVIA													
NORMAL	0.3	0.4	0.5	1.3	7.9	16.5	15.2	18.1	16.6	6.9	1.6	0.4	85.7
AÑOS CON DATOS	18	18	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	
HIEBLA													
NORMAL	0.3	0.6	0.2	0.2	1.3	2.0	0.6	1.5	3.0	1.8	0.8	0.6	12.9
AÑOS CON DATOS	18	18	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	
GRANIZO													
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2
AÑOS CON DATOS	18	18	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	
TORRENTA E.													
NORMAL	0.0	0.1	0.0	0.3	2.1	3.2	1.9	3.7	2.4	0.5	0.1	0.0	14.3
AÑOS CON DATOS	18	18	17	16	15	15	14	15	16	16	17	16	

Nota: Fuente: Servicio Meteorológico Nacional. Normales climatológicas estado de: Chiapas periodo: 1981-2010 estación: 00007176 Tuxtla Gutiérrez.

JUSTIFICACIÓN

La necesidad de implementar estrategias de diseño que sean amigables con el medio ambiente es una tarea que a nivel mundial se ha venido implementando en las últimas décadas. Los sistemas constructivos tradicionales de la actualidad carecen en su mayoría de estas estrategias, nuestro deber como profesionistas es evolucionar a una educación ambiental para tener equidad con las futuras generaciones. Generar ambientes térmicamente confortables para habitar es uno de los enfoques más importantes que debemos tener en cuenta al momento de diseñar, puesto que, es para el usuario para quien va dirigida la arquitectura, no solo se tiene la finalidad que hacer espacios estéticamente agradables, sino que se busca la habitabilidad confortable dentro de ellos.

Al generar un edificio de estas características se intuye que se cumple con el desafío del desarrollo sustentable, por medio de la eficiencia energética y optimización de los recursos naturales para reducir las emisiones al medio. Según Morillón y Carballos (2015) en México, el consumo final de energía en los edificios es responsable de 20.0% del consumo final de energía del país. Además, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez las viviendas presentan rangos superiores de temperatura a los 30°C en los interiores, por lapsos de hasta 12 horas (Ruiz et al., 2011). Generando espacios con rangos de temperatura superiores al nivel confortable sus habitantes, las cuales van de los 25°C a los 30°C. (Ruiz, s.f.; Olgyay, 1998; Morillón y Cerballos, 2015)

La relevancia del tema de investigación de los sistemas ambientales bioclimáticos pasivos es importante en el contexto profesional puesto que, generar espacios térmicamente equilibrados puede contribuir a las condiciones de salud humana y su habitabilidad. Por otra parte, Tejeda y Rivas (2002) menciona que, de no atender el problema de comportamiento térmico y el gasto energético en los edificios, las emisiones de co2 tenderán a aumentar hasta 5 veces el consumo actual.

HIPOTESIS

Con base en la teoría de la arquitectura bioclimática y conociendo los sistemas de climatización pasivos que coadyuvan al enfriamiento de temperatura en los espacios interiores de los edificios. Es posible plantear la siguiente hipótesis:

Emplear en los edificios un sistema ambiental que contenga los sistemas de climatización bioclimáticos pasivos tales como: protección solar y la inducción de viento selectivo; Será capaz de mejorar el comportamiento térmico en su interior, reduciendo la temperatura del aire y como consecuencia, mejorará las condiciones habitables en el mismo cuando los rangos de temperatura sean superiores a los confortables que se ubican entre 25°C a 30°C en clima cálido subhúmedo.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un sistema ambiental por medio de simulación térmico dinámico de la envolvente, con el software EnergyPlus™ NMX-C-460-ONNCCE-2009, que integre componentes de climatización bioclimáticos pasivos y permita optimizar la condición del comportamiento térmico al interior de los edificios, en el clima cálido-subhúmedo, para mejorar la habitabilidad en los mismos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar los elementos climáticos que influyen al calentamiento de un edificio, por medio del estudio del estado del arte.
2. Compilar en un catálogo las estrategias bioclimáticas adaptadas al clima cálido subhúmedo para mitigar el aumento de temperatura del aire al interior de los edificios.
3. Seleccionar los sistemas pasivos más efectivos para enfriar espacios interiores, que integrarán el sistema ambiental a emplear.
4. Construir el modelo digital de dos módulos de experimentación, uno que contenga el sistema ambiental elegido y el otro módulo testigo con nulas estrategias empleadas.
5. Comparar datos medidos para poder emitir conclusiones acerca del estudio.
6. Evaluar la eficiencia del componente ambiental basado en la diferencia de temperatura con el módulo testigo.
7. Diseñar un modelo final que contenga con las estrategias bioclimáticas que cumplan con la evaluación termodinámica.

A partir de esta narración el capitulo de introducción se resalta la urgencia de abordar la falta de consideración de estrategias bioclimáticas en la construcción de las viviendas en Tuxtla Gutiérrez, México. Basado en este análisis se puede dar paso al capítulo 2 del marco teórico que sustenta la investigación y respalda como abordar al problema acá presentado, genera una base para el desarrollo de ecotécnicas bioclimáticas y ambientalmente amigables. La implementación de sistemas bioclimáticos pasivos emerge como solución viable para mitigar el impacto del calor en el interior de los edificios y construcciones resilientes ante los desafíos actuales del cambio climático.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO

El presente capítulo contiene la teoría en la que se basa el sustento de esta investigación, se trata de una investigación fundamentada en la teoría bioclimática, la cual en su concepto tiene como base al enfoque de la sustentabilidad, se adopta como una respuesta esencial a los retos contemporáneos en la arquitectura y urbanismo. Por lo que es esencial la preocupación por el medio ambiente en el uso de su método, pero, además, esta teoría se enfoca con una base conceptual de esta investigación a los factores que afectan el comportamiento térmico en el interior de los edificios (CTIE). Estenssoro (2015) define que el concepto de teoría sustentable se presenta como el paradigma que guía el nuevo modelo de desarrollo, incorporando tres enfoques que lo rigen: económico, social y ambiental. (p. 87)

La preocupación por el medio ambiente y la preservación de la humanidad es el punto clave para tomar estrategias ecológicas de este nuevo paradigma sustentable, donde la educación ambiental comienza a ser prioridad para el nuevo modelo de desarrollo mundial derivados de la crisis ambiental (Estenssoro, 2015). “El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.” (Eschenhagen, 2007, p.46) Basado en este enfoque se establece el fundamento y guía ética de esta investigación.

Para abundar más en la teoría de la sustentabilidad, en el desarrollo del capítulo se hizo referencia a distintas cumbres ambientales internacionales realizadas en estas últimas décadas y el análisis de cómo cada una de ellas tiene aportes a la evolución de políticas ambientales para mejorar las estrategias de desarrollo sostenible.

Por otro lado, el concepto de arquitectura bioclimática en su definición es un alto contribuidor para lograr la sustentabilidad, puesto que, se basa en la adaptación del medio ambiente y se enfoca en los factores que afectan al confort físico y psicológico del ser humano por medio de la optimización y el uso de ecotécnicas, elección de materiales en la edificación, sistemas constructivos y componentes arquitectónicos que se adaptan de manera más eficiente al medio ambiente donde se emplean. Para cumplir con los conceptos de arquitectura bioclimática-sustentable, preferentemente es necesario implementar estrategias de climatización pasivas para minimizar los impactos negativos al medio ambiente.

En el contexto actual de la arquitectura y el urbanismo, la búsqueda de soluciones sostenibles se ha convertido en un imperativo de diseño. El propósito de esta integración es explorar la intersección entre la teoría del bioclimatismo y la teoría sustentable, con un enfoque específico en el estudio del CITE. Este estudio se especializa en la comprensión detallada de como el clima afecta directamente a la envolvente arquitectónica abordando temas de aspectos fundamentales de la termodinámica y fenómenos de distintos tipos de transferencias de calor a través de la envolvente arquitectónica y el impacto en el CITE producidos por los elementos físicos y climatológicos que afectan su contexto. Finalmente se analizan las estrategias pasivas que coadyuvan la mitigación de dichos efectos de temperatura, específicamente en el clima cálido subhúmedo de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

A medida que la conciencia ambiental crece, la necesidad de implementar estrategias arquitectónicas que reduzcan la dependencia de sistemas mecánicos convencionales de climatización se vuelve más evidente y necesario. Es por eso que el enfoque específico de este estudio recae en el entendimiento, definición y aplicación de sistemas bioclimáticos pasivos que puedan emplearse para el enfriamiento del aire en el interior de los edificios; tales como la inducción de ventilación natural, el diseño de sombreado eficiente y la implementación de materiales en la envolvente con propiedades térmicas más adaptadas al medio.

Entonces, la combinación de teorías del bioclimatismo y la sustentabilidad se presentan como un enfoque integral para concebir y diseñar edificaciones más respetuosas con el medio ambiente, capaces de adaptarse al medio y responder positivamente a las condiciones climáticas locales; en este caso, la investigación se aborda a través del estudio del comportamiento térmico.

“La construcción del marco teórico [en] una investigación constituye la primera etapa de un diseño. Es importante [no confundirlo] con la elaboración del estado del arte en un tema [específico, pues este] requiere revisar, evaluar [y sistematizar] el conocimiento producido por otros [investigadores] para construir el punto de partida del propio estudio”. (Sautu, 2005). Por esa razón, a lo largo del capítulo también se aborda el tema del conocimiento y análisis del estado del arte, basado en algunas investigaciones referentes a estudios de comportamiento térmico en las edificaciones, destacando las aportaciones teóricas y tecnológicas referentes al tema; Haciendo referencia a futuros temas de investigación que para este caso de estudio no podrán ser abordados.

1.2 ESTADO DEL ARTE

En su definición, “El estado del arte es una investigación documental sobre la cual se recupera y trasciende reflexivamente el conocimiento acumulado sobre determinado objeto de estudio”. (Gómez et al., 2015, p.424)

En la actualidad los aportes teóricos de investigaciones documentadas, enfocados al tema de la evaluación del comportamiento térmico de los edificios y sumado a las normas de la eficiencia energética en los mismos, han contribuido a desarrollar métodos, softwares y diversas herramientas que suman a la información del tema, ya sea por estudio de su ahorro energético sostenible, por el confort humano o por su viabilidad económica. Éstos coadyuvan a la demostración de la calidad ambiental que dichos edificios aportan, y con estos aportes teóricos estudiar de modos más profundos para poder hacer una contribución de conocimiento científico. Muchas son las urbes que presentan el problema del gasto energético en las edificaciones debido al uso de medios mecánicos para mitigar el discomfort térmico que generan cuando éstas presentan malas estrategias habitarlas.

Por esta razón a nivel mundial se han presentado estudios, normas y estrategias para el comportamiento térmico de los edificios. Estas incluyen la definición de los estándares ambientales básicos que debe cumplir un edificio sostenible para ayudar a reducir los efectos adversos ambientales, sin olvidar los factores socioeconómicos que garantizan su accesibilidad económica, su adecuada inserción en el contexto urbano y natural y fundamentalmente, su habitabilidad y salud humana.

Estas investigaciones, tanto a nivel nacional como estatal, en Chiapas, reflejan un esfuerzo continuo de comprender y mejorar el comportamiento térmico de los edificios. Desde propuestas de diseño arquitectónico hasta estrategias con materiales innovadores y tecnologías verdes, estos proyectos buscan contribuir significativamente a la construcción de entornos habitables, sostenibles y eficientes desde el punto de vista energético. La aplicación práctica de hallazgos puede no solo mejorar el confort de los habitantes, sino también reducir el impacto ambiental de las edificaciones en el contexto urbano-natural. Estos estudios presentan un paso crucial hacia el desarrollo de prácticas constructivas más responsables y la promoción de entornos construidos que se adapten a su entorno natural.

“Esta estrategia denominada estado del arte se ha definido de diversas formas, y se han identificado tres tendencias, ellas son: recuperar para describir, comprender y recuperar para trascender reflexivamente.” (Gómez et al.,2015, p.427). Por lo tanto, a continuación, se muestra una recopilación de investigaciones científicas basadas en el estudio de la eficiencia energética y el confort térmico en las viviendas, estas investigaciones facilitan un estudio más profundo pretendiendo aportar contribuciones científicas significativas.

1.2.1 PROYECTOS NACIONALES

Dentro de los estudios nacionales que se han hecho, se expone la evaluación Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo (Romero, 2004). Donde se tomaron como caso de estudio las ciudades con clima seco tales como Mexicali, Hermosillo y la paz; ciudades con clima húmedo como Mérida y Veracruz; y ciudades con clima cálido subhúmedo como Culiacán y Colima.

Esta investigación tiene “como objetivo estimar el impacto de las condiciones de la vivienda económica en el confort térmico del usuario, y en el consumo energético por climatización artificial en ciudades” (Romero, 2004) clasificadas con clima cálido seco y húmedo, a través de estudios de campo y simulación térmica para tomarlos como base y hacer la elaboración de propuestas de diseño arquitectónico de la vivienda integrado a su entorno inmediato para personas de recursos económicos reducidos. En su diagnóstico presentado en el año de 2004 se observa que, en los climas cálidos secos y húmedos, se presentan graves problemas en el confort térmico de los usuarios, por tal motivo se ven forzados a usar sistemas mecánicos de enfriamiento enfriadores evaporativos, ventiladores de techo y pedestal, y sistemas de aire acondicionado provocando mayor desgaste energético. La conclusión resultó en 2 propuestas:

1. Incorporar técnicas de: sombreado, ventilación natural y reflexión, que contribuyan a reducir el calentamiento y promuevan el enfriamiento en verano, mientras que en invierno lo facilitan y evitan respectivamente.
2. Utilizar materiales y sistemas constructivos con propiedades térmicas adecuadas, factibles de ser aplicados en programas de construcción en serie.

De acuerdo al autor (Romero, 2004), los criterios de adecuación aplicados en el diseño y construcción de la vivienda, permiten lograr temperaturas más uniformes en todas las superficies interiores y asimismo un ambiente térmico más homogéneo en el espacio interior. La adecuación integral de la vivienda se logra con la aplicación de técnicas que permiten controlar: la radiación solar, el paso del calor a través de la membrana arquitectónica, la ventilación natural y la humedad, mediante el uso de elementos de sombreado, masa térmica, aislamiento térmico y vegetación.

De igual manera, la Universidad Nacional Autónoma de México a través de del Instituto de Ingeniería, desarrollaron una serie de investigaciones de 110 diagnósticos energéticos realizados a edificios residenciales, comerciales y de servicio, con distintos giros. Con el fin de identificar la problemática existente en el uso y consumo de la energía en edificios, la cual agrupar en cinco puntos (Morillon et al., 2015):

1. Mal uso del alumbrado
2. Equipos e instalación obsoletos e ineficientes
3. Mantenimiento inapropiado
4. Adición de cargas
5. Edificios no adecuados al ambiente.

En este último punto atañe al problema del confort térmico los cuales no son edificios adaptados a las condiciones climáticas en las que se construyeron, su consumo energético se debe al uso de 3 factores principalmente:

1. Aire acondicionado
2. Iluminación artificial en horas del día en que existe aportación de luz natural
3. Otros usos de la energía convencional, pues en el norte de México el gas se usa para calentamiento en invierno.

El estudio determina que uno de los principales gastos energéticos se debe al uso de climatización artificial a los edificios. La investigación tiene como finalidad otorgar mayor información para lograr adaptaciones al medio donde se desarrollan las edificaciones y así enmendar los efectos adversos al medio ambiente durante la construcción y vida de los edificios. Para así traer consigo beneficios ambientales, sociales y económicos, dando mayor lugar a un desarrollo de la edificación sustentable.

1.2.2 PROYECTOS ESTATALES

La extensión de la Facultad de Arquitectura campus-1 de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), a través del cuerpo académico Componentes y Condicionantes de la vivienda (COCOVI), enfocado en la línea de investigación transferencia tecnológica para la vivienda bioclimática. Ha desarrollado múltiples investigaciones dedicadas a diferentes alternativas para mitigar el paso de calor radiante en los techos de las viviendas. Se expone en más de una investigación que la construcción tradicional de losa de concreto armado es un componente que por su exposición a la radiación directa al sol, por su conductividad térmica de sus materiales y el almacenamiento de energía que produce, dejan en evidencia que uno de los principales componentes de la vivienda responsable del calentamiento interior de las viviendas.

Dentro de estas indagaciones, se retoma la investigación experimental llamada Desempeño Térmico de Techo Alternativo para Vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. En la cual se demostró por medio de medición de temperaturas en interiores y exteriores que la losa de construcción de concreto armado de construcción tradicional de 10 cm de espesor tiene una temperatura superficial de 45°C, a la vez que la temperatura del aire exterior era de 37°C, esos rangos de temperatura irradian al interior de la vivienda una temperatura de 35°C y, presentando rangos superiores a los 30°C durante 12 horas. (Castañeda et al., 2010)

El objetivo es comparar el desempeño térmico de un sistema de techo alternativo trabajado en COCOVI, el cual contiene materiales de desecho como aislante de calor radiante: Politereftalato de Etileno (PET), Aserrín (A) y Cáscara de Coco (CC). Contra dos sistemas constructivos: placa losa y el techo tradicional de concreto amado.

Los resultados comprueban que el sistema de techo alternativo presenta mejores condiciones de desempeño térmico, logrando bajar hasta 18.68°C su temperatura del aire al interior de la vivienda con un atraso térmico de 2 horas para llegar a su máxima temperatura superficial interior.

Una investigación adicional presentada en esta tesis está basada en el análisis de envolvente de la vivienda, intitulada Sistemas constructivos en las viviendas de México, diagnóstico y oportunidad de ahorro de energía mediante el uso de diversos sistemas pasivos en las distintas regiones climáticas del país desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México. En esta colección se incluye el primer resultado de la evaluación de prototipos de viviendas de interés social que han sido construidas en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,

en un clima cálido subhúmedo (Ruiz et al.,2011). Nombre de la investigación: comparación del comportamiento térmico de una vivienda en clima cálido subhúmedo, citan: las edificaciones resultan en un alto consumo de energía, debido a sistemas mecánicos de enfriamiento. En México las edificaciones son responsables del 17% del consumo total de energía.

Tuvo “como objetivo determinar cuál es la relación entre la evaluación del comportamiento térmico de la vivienda con respecto a los resultados obtenidos con la norma del anteproyecto de Eficiencia energética en edificaciones de uso residencial (NOM-020-ENER)” (Ruiz et al.,2011, p. 380). El trabajo demuestra que la vivienda presenta condiciones de discomfort térmico, Se determinó que, al realizar mejoras en el aislamiento del techo, se cumple con los estándares de la normativa NOM-020-ENER, sin embargo, para lograr un nivel superior de confort térmico, es indispensable incrementar estrategias pasivas adicionales que van más allá de lo que la norma puede medir.

También Se expone como caso de estudio: comparación térmica de vivienda social en clima cálido subhúmedo: el antes y después de su transformación en el tiempo. En el cual estudian el comportamiento térmico de dos viviendas de interés social en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Con el fin de conocer el efecto energético que genera aplicando sistemas pasivos en dichas viviendas, actualmente la tipología formal y constructiva utilizada es de concreto y acero, son materiales que por sus características termo físicas almacenan energía radiante durante el día liberando gran parte de ella por la noche, lo cual no permite otorgar condiciones principalmente de habitabilidad térmica, y el cual puede alcanzar una temperatura superficial de 45°C con respecto a la del aire exterior de 37°C. (Castañeda et al., 2014)

Los resultados demuestran que los sistemas pasivos originales de las construcciones no se integran con su contexto climático por lo que no son eficientes, impidiendo beneficios térmicos al habitante, situación que podría mejorarse con un diseño apropiado, en el cual es necesario implementar sistemas pasivos de control solar para mitigar estas condiciones.

Basado en investigaciones experimentales y teniendo como evidencia el monitoreo y medición de las temperaturas en las viviendas de Tuxtla Gutiérrez, se desarrolló el estudio de Desempeño térmico del techo verde, una alternativa viable para la edificación, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Se ha demostrado que la gran mayoría de viviendas no cuenta con estrategias para mitigar el estrés térmico derivado de la radiación solar y la temperatura del aire al interior de las viviendas.

Una estrategia muy efectiva de aislante térmico es emplearla estrategia de vegetación en los techos, a continuación presento una de varias investigaciones desarrolladas basadas en el tema de vegetación como sistema alternativo para aislante en el techo de las viviendas, llamada Desempeño térmico del techo verde, una alternativa viable para la edificación, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México (Trujillo et al., 2015) los beneficios que la estrategia del techo verde ha demostrado son: disminución de las temperaturas en los interiores de la vivienda en clima cálido subhúmedo, es menor que lo que aporta el techo de concreto reforzado, reduce el paso de calor hasta por 19°C y con un retardo térmico de 6 horas, teniendo como resultado una mayor optimización del uso de la energía del edificio, esto por la reducción de uso de elementos mecánicos para brindar mejores condiciones térmicas al habitante, lo que también tiene aporte económicos al habitante.

1.2.3 CONCLUSIONES DEL ESTADO DEL ARTE

Tras el análisis y observación de los diversos estudios relacionados con el comportamiento térmico en la vivienda, es evidente que existe la necesidad de realizar viviendas más adaptadas al medio donde se edifican, puesto que, basado en las mediciones observadas, las viviendas que no cuentan con sistemas de enfriamiento pasivo o alguna estrategia similar bioclimática, presentan rangos en la temperatura fuera de los límites de confort. Obligando a los usuarios a tener una mala calidad de vida, generando en algunas ocasiones desgaste fisiológico o daños a la salud de los mismos por la inadaptación climática en los espacios que habitan, siendo obligados en los casos más comunes a usar medios mecánicos para la mitigación térmica, por consecuencia se presentan altos consumos energéticos y gastos económicos. Basado en estos estudios es posible mencionar las siguientes conclusiones para el enfoque que a esta investigación atañen:

1. En Tuxtla Gutiérrez llegan a presentarse temperaturas superiores a 30c en los interiores de las viviendas por más de 12horas a partir del mediodía.
2. Las mediciones se realizan por medio de la teoría de la climatología dinámica.
3. Se identifica que el consumo energético de los edificios representa una problemática debido a su gasto excesivo por el uso de sistemas mecánicos de enfriamiento.
4. Los materiales de la envolvente de la vivienda tradicional, en su mayoría son construidas con materiales con características termo físicas de alta densidad, esto quiere decir que tienen un alto nivel de conductividad térmica.
5. En caso de estudio en los cuales se utiliza una estrategia de enfriamiento, si bien los resultados son positivos, siempre la recomendación es la combinación de más sistemas auxiliares de enfriamiento para alcanzar un mejor potencial, puesto que un solo sistema no es suficiente para generar niveles de confort adecuado en el interior de las viviendas.
6. Las estrategias de enfriamiento pasivo pueden dividirse en tres grupos principales:
 - a) Utilizar materiales que por sus características termo físicas se integren al medio donde se construyen.
 - b) Aplicar estrategias de protección solar
 - c) Coaccionar la inducción de vientos selectivos al interior de la vivienda.

A pesar de los avances positivos observados con estrategias de enfriamiento, se concluye que es necesario combinar múltiples sistemas auxiliares para lograr un potencial óptimo.

Además, se destaca la importancia de considerar estrategias pasivas adicionales que no pueden evaluarse únicamente mediante normas estándar, es decir, las estrategias podrían abordar tecnologías o procesos constructivos locales y tradicionales, en última instancia este sería el camino hacia la construcción de viviendas sostenibles y adaptadas al clima, requiriendo también de un enfoque integral, que involucre a diseñadores, arquitectos, constructores y comunidades locales, es decir una colaboración multidisciplinaria.

Estos proyectos de investigación ofrecen valiosas lecciones para el diseño futuro de edificaciones, no solo en México sino a nivel global. Destacan la importancia de considerar el contexto climático local, adaptar tecnologías verdes y representar los métodos tradicionales de construcción para avanzar hacia un futuro donde la eficiencia energética y confort térmico entre otros temas sostenibles sean los elementos fundamentales en la planificación y desarrollo de edificaciones.

1.3 SUSTENTABILIDAD

Concepto predecesor a la sustentabilidad surge en el año de 1972, llamado ecodesarrollo y fue utilizado por primera vez por Maurice Strong, en la primera reunión del Consejo Consultivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (Foladori y Pierri, 2005). Destacando la necesidad de considerar al medio ambiente en la planificación del desarrollo económico social. Puesto que, tras la revolución industrial, el tema ambiental no era un tema de estudio que preocupara a la humanidad. Sachs definió inicialmente el ecodesarrollo como “un estilo de desarrollo particularmente adaptado a las regiones rurales del Tercer Mundo” (Estenssoro, 2015, p.87) es decir, se buscaba la relación armoniosa entre sociedad y el entorno rural. Quince años después el concepto de ecodesarrollo evolucionó y adoptó el nombre de desarrollo sustentable, que en esencia son conceptos similares: “socialmente justo, ecológicamente compatible y económicamente viable”. (Riechmann, s.f., p.3).

La diferencia de conceptos resulta en que el ecodesarrollo fue el precursor del nuevo modelo económico y se enfocó inicialmente en cuestiones regionales específicas, por otra parte, el desarrollo sustentable es un término más amplio, global y actualizado que incorpora una comprensión más integral a la relación entre desarrollo, equidad y sostenibilidad ambiental.

En el año de 1972 el Club de Roma encomienda a un grupo de científicos del Massachusetts Institute of Technology (MIT). La elaboración del informe llamado Los límites del crecimiento. (Zaragoza, s.f.) Este informe, basado en simulaciones computacionales, advirtió que “Si las presentes tendencias de crecimiento en la población mundial, industrialización, contaminación, producción de alimentos y utilización de recursos naturales no se modifican, los límites del crecimiento del planeta se alcanzarían dentro de los próximos 100 años.” (Zaragoza, s.f., p.10) Un dato fuerte y preocupante que aún no termina de hacer conciencia en la sociedad actual, y el entendimiento del cuidado del medio ambiente todavía no es del todo prioridad en el uso del modelo económico.

En abril de 1987, quince años después de haber surgido el concepto de ecodesarrollo, se realizó el informe de Nuestro futuro común, en la ciudad de Oslo, Noruega, en el que se utilizó por primera vez el término desarrollo sostenible o desarrollo sustentable, dicho informe fue realizado por la dirección de la Dra. Gro Harlem Brundtland. El informe plantea la importancia a de un crecimiento basado en políticas sostenibles y la expansión de recursos ambientales. La

publicación se hizo famosa por contener la conocida definición: “El desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.” (Eschenhagen, 2007, p.46). A lo largo de las décadas el desarrollo sostenible ha evolucionado para incluir una comprensión más amplia de la integración entre los sistemas naturales y humanos, y se ha convertido en un marco fundamental para guiar políticas y acciones a nivel mundial (NAREDO, 1996). El enfoque hacia un desarrollo sostenible es esencial para asegurar un futuro común más equitativo, saludable y próspero para las generaciones presentes y futuras.

El desarrollo sustentable se ha convertido en el tema al que se ha sumado la mayoría de las naciones y sus gobiernos, pero no fue sino hasta 1992 en la conferencia de las cumbres de la tierra, que tomó su carácter legal y comenzaron a implementarse normas y estrategias de manera oficial. (Ramírez, et al, 2004)

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992, conocida como Cumbre de la Tierra. En la que se elabora la Agenda 21, la cual, se define “como un conjunto de políticas y programas relacionados con el concepto del desarrollo sostenible cuyo ámbito de aplicación es la esfera local” (Bustos y Chacón, 2009): Uno de los principales méritos que se atribuyen a Río ha sido difundir el concepto de desarrollo sostenible, con el objetivo de conciliar el crecimiento económico, la equidad social y la conservación del medio ambiente. (Brunet et al., 2005; Bustos et al., 2009)

Es importante señalar que, a pesar de sus méritos, la implementación de la Agenda 21 ha enfrentado desafíos y críticas a lo largo de su elaboración, y su éxito depende en gran medida de la voluntad política y la cooperación global.

1.3.1 CONCLUSIONES PARCIALES

En conclusión, la evolución de desarrollo con un enfoque sostenible debe ser inherente en la vida diaria de los seres humanos, así como las prácticas, costumbres y desarrollos tecnológicos. La humanidad está traspasando los límites ambientales que debería imponerse, los indicadores estadísticos son claros, el mundo está en deterioro, los recursos naturales son extraídos más rápido de lo que pueden regenerarse, las cifras son alarmantes y los problemas ambientales podrían potencializarse si no se toman estrategias para una regeneración de los recursos ambientales.

En nuestro quehacer como arquitectos, debemos evolucionar aun modo de arquitectura ambientalmente responsable, la concepción de edificios sustentables, desde la etapa de diseño, periodo de servicio y ocupación, hasta su demolición, cada proceso debe ser pensado de modo adaptado al medio y con estrategias que no promuevan el gasto de recursos no renovables.

A mediados del siglo XX la arquitectura ha evolucionado, ya no es suficiente tan solo la implementación de los conceptos de hacer una arquitectura útil, firme y bella, sino que, además, ya debe ser adaptada a su contexto, tanto climático como de modo tecnológico y social, para así fortalecer el concepto de sustentabilidad y hacerse propia con un carácter regional. Para que finalmente represente su tiempo y espacio de modo eficiente.

La elección para realizar el concepto sustentable y de su implementación en el en el proceso de hacer arquitectura, se justifica retomando los siguientes conceptos planteados en los informes ambientales internacionales:

1. Ecodesarrollo: Evoluciona la educación ambiental y el desarrollo humano, en miras que ahora éste sea socialmente justo, ecológicamente compatible y económicamente viable.
2. Límites del crecimiento: El uso de los recursos naturales y la energía empleada en su extracción o funcionamiento para satisfacer su uso son finitos.
3. Nuestro futuro común: Emplear nuestros recursos de modos que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.
4. Agenda 21: La aplicación de nuevas tecnologías ambientalmente adecuadas, que se sumen a las nuevas políticas y difusión del quehacer sostenible.

1.4 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

La arquitectura bioclimática tiene como base a la sustentabilidad, porque se basa en diseñar y planificar entornos arquitectónicos urbanos teniendo en cuenta las condiciones climáticas y ambientales locales, así también, busca minimizar el impacto ambiental y mejorar la eficiencia energética en los edificios. Surge por esa necesidad de hacer una arquitectura preocupada por el ser humano y respetuosa con el medio ambiente, incorporando elementos de diseño como la orientación solar, la ventilación natural y el uso eficiente de recursos. En esencia, promueve un equilibrio armonioso entre las actividades humanas y el entorno, considerando la capacidad de la naturaleza para regenerarse y mantenerse a lo largo del tiempo. Es decir, resiliente y sostenible, por motivo que esa sería la meta final idónea de un edificio bioclimático.

Uno de los primeros arquitectos en emplear y dejar precedente en la arquitectura bioclimática a nivel mundial en el año de 1963 fue el arquitecto y urbanista Víctor Olgyay, de origen húngaro (Lago, 2015) Quien aportó el método de análisis de la carta bioclimática, la cual lleva su propio nombre Carta Bioclimática de Olgyay, y puesta en contexto en su libro Manual de Diseño Bioclimático. (Cely, 2014). En el año de 1969 el arquitecto israelí Baruch Givoni también hizo una publicación de trascendencia en la arquitectura bioclimática, por la editorial Elsevier del libro "Man, Climate and Architecture" (Hombre, clima y arquitectura), basado en el problema ambiental, estableció en sus investigaciones la relación entre temperatura y humedad relativa, con las cuales desarrolló el diagrama de las zonas de confort higrotérmico. (Cely, 2014).

Desde la teoría de Víctor Olgyay hasta la actualidad, diversos autores y profesionales han contribuido significativamente al estudio y difusión del bioclimatismo, se han dedicado a la investigación del confort y el clima para la arquitectura y en especial para el bien estar el bienestar físico y psicológico del hombre. A continuación, se nombran algunos autores que posteriormente contribuyen en el proceso de esta investigación.

Michael Humphreys: Conocido en el ámbito de la arquitectura y diseño ambiental por sus contribuciones fundamentales el estudio del confort térmico y el desarrollo del modelo adaptativo. Este modelo propone que las expectativas de confort térmico de las personas no son estáticas, sino que se adaptan a las condiciones climáticas locales y a la variabilidad estacional.

La investigación de Humphreys ha demostrado que el confort térmico es una experiencia subjetiva influenciada por factores ambientales, metabólicos, físicos y psicológicos. Sus

investigaciones han sido fundamentales para la aceptación y la inclusión del modelo adaptativo en estándares internacionales de diseño y construcción de edificios, como la normativa ASHRAE 55 y la norma ISO 7730 sobre el ambiente térmico de los espacios interiores.

Rafael Serra Florensa: Dentro de sus publicaciones aporta el estudio las relaciones que tiene el ser humano como ser vivo con el entorno que lo rodea, estas relaciones son básicamente intercambios energéticos de todo tipo que ayudan a que el cuerpo humano pueda mantener unas condiciones óptimas frente a un ambiente cambiante. Homeostasis cuya misión es regular la respuesta frente a cargas ambientales que pueden ser climáticas, lumínicas, acústicas y psíquicas. El proceso perceptivo se puede dividir en 3 niveles:

- 1) Nivel Físico: Manifestaciones energéticas en el ambiente que son recibidas por los Sentidos
- 2) Nivel Fisiológico: Transformación de los estímulos energéticos en impulsos nerviosos y su transmisión al cerebro
- 3) Nivel Psicológico: Recepción, clasificación, e interpretación en el cerebro del conjunto de señales eléctricas recibidas.

Carl Mahoney: Bioclimático que elaboró un método de diseño para el hábitat de manera óptima, expresada en las llamadas tablas de Mahoney. Tiene la finalidad de contrastar datos climatológicos con un estándar de confort preestablecido para una ubicación específica, facilitando así la evaluación de las condiciones climáticas y la selección adecuada de recursos bioclimáticos. Este método se estructura en cuatro fases: el análisis de datos meteorológicos mensuales, la confrontación de estos datos con los límites de confort establecidos, la identificación de indicadores relevantes y la formulación de recomendaciones para el diseño arquitectónico.

David Morillon Gálvez: Ingeniero y académico mexicano reconocido por su trabajo en el campo de la sostenibilidad, eficiencia energética y energías renovables. Su trabajo ha incluido colaboración con organismos gubernamentales y no gubernamentales para proyectos que promueven la sostenibilidad ambiental y la reducción de la huella de carbono en el sector de la construcción y el urbanismo. Su trabajo subraya la importancia de abordar los desafíos ambientales mediante un enfoque integrado que combina tecnología, innovación, políticas públicas y educación.

Víctor Armando Fuentes Freixanet: Arquitecto mexicano reconocido por su trabajo en el campo de la arquitectura bioclimática y sustentable. Ha publicado varios libros y artículos en revistas y congresos nacionales e internacionales. A nivel profesional ha desarrollado proyectos que incorporan principios de diseño bioclimático, como el uso de orientaciones adecuadas, estrategias de ventilación natural, aprovechamiento de la luz solar y control térmico.

Andris Auliciems y Steven Vladimir Szokolay: Dentro de sus aportaciones publican, el organismo humano genera calor de manera constante. Esta generación de calor metabólico se puede clasificar en dos categorías: (Auliciems y Szokolay,1997) 1) Metabolismo basal, que se origina a través de los procesos biológicos que ocurren de forma continua e inconsciente. 2) El metabolismo muscular, que se produce durante la realización de actividades físicas y puede ser controlado conscientemente, excepto en caso de escalofríos

Es crucial que el calor generado se disipe hacia el entorno, de lo contrario se producirán cambios en la temperatura corporal. “La temperatura corporal profunda es de unos 37°C, mientras que la temperatura de la piel puede variar entre 31°C y 34°C en condiciones de confort.” (Auliciems y Szokolay, 1997, p. 6). Estas temperaturas pueden variar con el tiempo y según las áreas del cuerpo.

Raúl Pavel Ruiz Torres: Arquitecto mexicano reconocido por la adaptación de las tablas de Mahoney a la Tabla de Confort Horario de Temperatura de Tuxtla Gutiérrez. Ha aportado investigaciones en proyectos y estudios bioclimáticos en el estado de Chiapas principalmente. Una de sus aportaciones principales junto con Gabriel Gómez Azpeitia y Gonzalo Bojórquez Morales. es el confrontamiento de dos enfoques teóricos, cualitativo y cuantitativo para estudio del confort térmico. Para la determinación del ambiente térmico ideal que debe considerarse para el diseño de los edificios.

Gabriel Castañeda Nolasco: Doctor en Ciencias de la Ingeniería Ambiental, arquitecto mexicano reconocido en América latina por el desarrollo de la transferencia tecnológica de 12 sistemas constructivos adaptados para el clima cálido subhúmedo principalmente, además de contar con dos patentes en trámite ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual.

Abordar el tema del bioclimatismo data desde el inicio de las civilizaciones donde los seres humanos buscaban refugios para protegerse de las inclemencias del clima, esos refugios adaptados al medio y unidos con la mano de obra local, tenían como resultado una arquitectura con carácter regional y expresiones constructivas adecuadas para cada medio donde se desarrollaron. (Olgay, 1998) Es entonces que hablar de un confort en la arquitectura surgió como un medio de adaptación y de supervivencia.” El desarrollo de un equilibrio térmico estable en nuestro edificio debe observarse como de los más valiosos avances en la evolución” por el Dr. Walter B. Cannon, citado en el libro. (Olgay, 1998, p. 4)

Al igual que la arquitectura sustentable, el concepto de la arquitectura bioclimática se basa en la preocupación del medio ambiente, pero, además, uno de los principales aportes y diferenciador de concepto es que la arquitectura bioclimática se enfoca al estudio de los factores que afectan al confort y la salud física y psicológica del hombre, estudiando los elementos físicos del entorno que las generan, no solo basándose en las sensaciones térmicas generadas por el clima, sino también en elementos físicos: lumínicos, acústicos y espaciales, entre otros efectos sensoriales que intervengan con la interacción humana. El correcto control de esos elementos físicos, por medio de la optimización y el uso de tecnologías eficientes pasivas como lo son, la buena orientación de los edificios, elección de materiales, sistemas constructivos, la vegetación y componentes arquitectónicos adecuados al medio empleado, generan entornos definidos como “zona de confort, donde la mayor parte de la energía humana se libera para dedicarse a la productividad”. (Olgay, 1998, p.15). La arquitectura debe ser lógica y reflejar el carácter adaptado a su medio, para ofrecer condiciones de vida adecuadas.

En la actualidad existen diversos estudios, así como métodos, softwares y herramientas para evaluar las condiciones bioclimáticas de los edificios, capaces de demostrar la calidad ambiental que dichos edificios son capaces de ofrecer, ya sea por su ahorro energético sostenible, por el confort o por su viabilidad económica.

El uso de tecnología eficiente es esencial para maximizar la eficacia en el diseño de los edificios. En este sentido, Morillon y Cerrallos (2015) definen que la eficiencia energética opera de manera integral, fusionando un diseño eficiente con tecnología eficiente. El diseño eficiente actúa como una medida para evitar la dependencia de elementos mecánicos tradicionales, mientras que a tecnología eficiente contribuye a reducir la demanda básica de energía del edificio. (p. 44).

Desde una perspectiva económica, el bioclimatismo no solo busca la eficiencia ambiental, sino que también puede generar beneficios económicos a largo plazo al optimizar el uso de recursos de gasto energético y operación. La reducción de costos de mantenimiento y la valorización de la propiedad como aspectos económicos clave del bioclimatismo. (Morillon et al., 2015)

Entonces, en consideración de las atribuciones que el estudio bioclimático puede aportar al ámbito arquitectónico, se ha elegido al bioclimatismo como eje rector de la teoría de esta investigación. A diferencia de la sustentabilidad, la implementación del bioclimatismo permite acotar modelos de investigación, debido a que pueden emplearse modelos medibles y delimitados, es decir, estudiados y experimentados con variables controlables, puesto que pueden emplearse procesos cuantitativos en su ejecución, haciéndola una teoría integral del estudio de la arquitectura y las condiciones climáticas de su contexto.

Para llevar a cabo el proceso del caso de estudio, determinados en el objetivo de la investigación, y expuestos en la metodología de trabajo, es preciso definir conceptos y teorías auxiliares al estudio bioclimático que involucran conocimientos y definiciones que abonan al entendimiento para lograr el objetivo del estudio del comportamiento térmico en los interiores de los edificios.

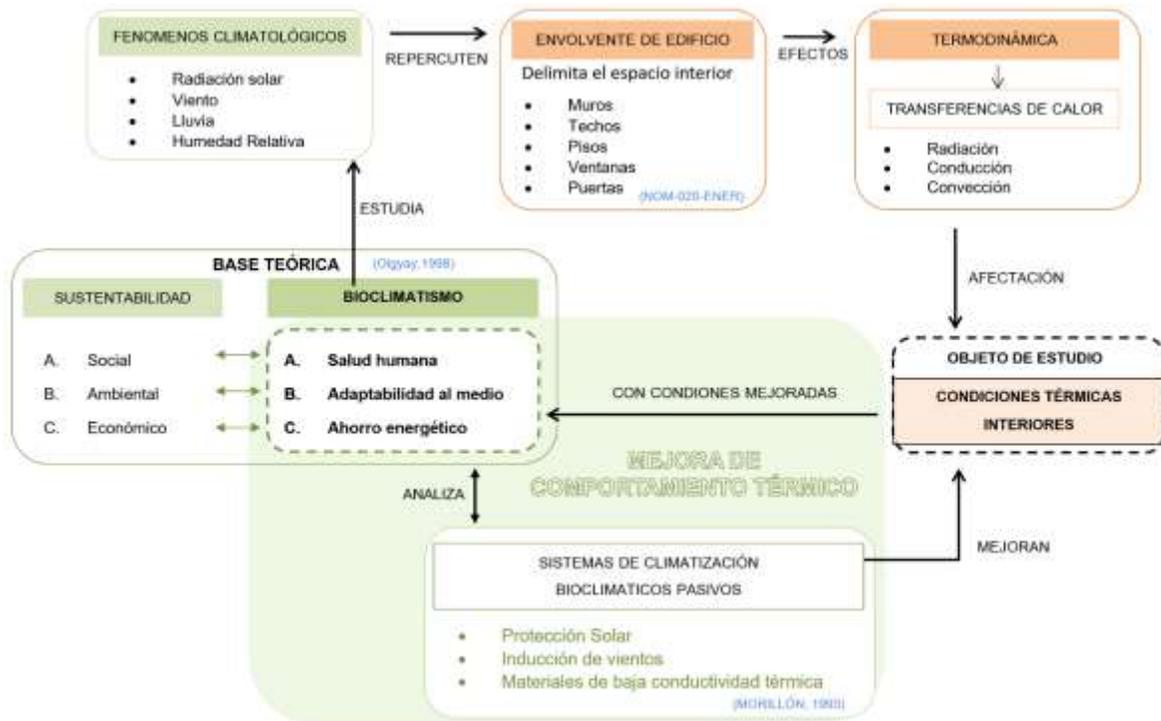
Es por eso que es de importancia abarcar y definir los temas de estudios a lo largo del marco teórico tales como, elementos climatológicos, la envolvente del edificio que delimita los espacios interiores, así como la teoría de la termodinámica para el entendimiento de las transferencias de calor y la interacción entre envolvente y el clima de su contexto.

Por otro lado, es crucial abordar el estudio de los sistemas de climatización pasivos como la protección solar y la inducción de vientos y como estos ayudan a mitigar los efectos adversos que se crean a través de los elementos climatológicos, generando una mejora térmica en los interiores y a su vez resultan en espacios más confortables para la habitabilidad humana y adaptados al medio físico natural.

Para un mejor entendimiento del proceso teórico de esta investigación, los temas de interés antes mencionados están acotados y expuestos en el siguiente mapa conceptual, como se ilustra en la figura 8.

Figura 8

Diagrama del Marco Teórico



Nota: Se expone la base teórica y los temas de interés auxiliares que integran la formación del marco teórico de esta tesis. Realizado por el Autor. (Ríos, 2024)

Este diagrama del marco teórico describe como la base teórica estudia los fenómenos que inciden al objeto de estudio, en este caso es un ambiente interior delimitado por la envolvente arquitectónica, que afecta al individuo y su ambiente. La envolvente es afectada por la radiación solar y otros elementos climatológicos, generando reacciones físicas. En condiciones de clima cálido subhúmedo, esto se traduce en el calentamiento de la envolvente, este proceso físico se lleva a cabo mediante una Interacción energética, generando procesos de transformación y transferencias de calor al interior del edificio.

Por otra parte, el análisis de los sistemas de climatización contribuye a una parte esencial del bioclimatismo, de ellos surge la integración del objeto arquitectónico y el contexto en el que se ubican. Estos sistemas incluyen técnicas como protección solar, inducción de vientos y elección de materiales de baja conductividad térmica. Al emplear estas técnicas de modo pasivo preferentemente, generan condiciones de habitabilidad, confort y mejoras en el comportamiento térmico en el interior de los edificios.

2.4.1 CONFORT TÉRMICO

Según la American Society of Heating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), el confort térmico se define como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el entorno térmico [...] y se enmarca en un intervalo de temperatura entre los 22 y 28 °C” (Morillón y Cerballos, 2015). Se ha establecido que la temperatura superficial de la piel sirve como un indicador fiable del confort térmico en las personas expuestas a entornos fríos. Por otro lado, en entornos cálidos donde la transpiración es más evidente que las variaciones en la temperatura de la piel, la humedad cutánea se considera un mejor parámetro para evaluar la sensación de confort térmico. (Azpeitia et al., 2007). “Sin el ser humano en una edificación no existe el concepto de confort” (Olgay, 1998, p.16). Es así que los efectos medioambientales inciden directamente en la energía y la salud humana.

Analizar el confort térmico incluye procesos de evaluación tanto cualitativas como cuantitativas, especificar un rango de confort térmico humano puede ser subjetivo puesto que son muchos factores que influyen a la sensación de confort, puede depender de cada persona, y se toman en cuenta factores como sexo, edad, tasa metabólica, lugar de origen y contexto de desarrollo de actividades físicas; Puede variar “entre localidades geográficas, ambientes climáticos y estratos socio-económicos y culturales”. (Azpeitia et al., 2007)

Es por eso que para efectos de esta investigación no se analiza el confort térmico, sino la mejora del comportamiento térmico en el interior de los edificios ya que este es un proceso cuantitativo en el cual se busca medir y controlar los resultados, y aplicar variables para su mejora. Por ende, tendrá consecuencias en el confort, pero son procesos cualitativos que no podrán tomarse en cuenta investigación.

No obstante, es de suma importancia tener un rango definido como estándar, como en este caso lo define la ASHRAE, puesto servirá como rango testigo en el cual se pueden medir, delimitar y tener rangos cuantitativos controlados en el proceso de experimentación e implementar variables para hacer mejoras al estudio del comportamiento térmico del espacio analizado.

1.5 ELEMENTOS CLIMATOLÓGICOS

Es indispensable entender la relación entre la climatológica con los objetos arquitectónicos, así como las fuentes de energía producidas y que afectan a los componentes de la envolvente de un edificio, con el fin de planificar estrategias o cálculos para la mitigación de condiciones adversas. “Principalmente la radiación solar y los efectos de temperatura del aire.” (Olgay, 1998, p.32) Se definen a continuación los principales elementos que tienen afectación en la temperatura del aire interior y el consumo energético de los edificios.

CLIMATOLOGÍA	
FUENTE	DEFINICIÓN
RAE	“Es el compendio de todas las variables meteorológicas, para los doce meses del año. Para ello se utilizan los valores climatológicos promediados en un período estándar de 30 años.”
(Olgay, 1998)	“Estudio del clima y conjunto de las características propias del clima de una región determinada y se basa en la meteorología estadística. Tanto las variaciones diarias o anuales de la temperatura atmosférica, están definidas según la energía solar”

TEMPERATURA DEL AIRE	
FUENTE	DEFINICIÓN
(Olgay, 1998)	“La variación de la temperatura diurna depende del estado del cielo. En días claros, la gran cantidad de radiación solar se recibe directamente, provocando un amplio rango de variaciones térmicas, mientras que, en días nublados, dicho margen es menor”
(HildebrandtGruppe, 2016)	“Se refiere a la radiación solar que es acumulada por el suelo y luego liberada al aire como radiación infrarroja. Se mide normalmente como temperatura relativa del aire en grados Celsius (°C). La temperatura interior de un recinto, en cambio, considera el aire exterior y la energía radiante de los muros”

HUMEDAD RELATIVA	
FUENTE	DEFINICIÓN
RAE	“Expresión porcentual de la cantidad de vapor de agua presente en el aire con respecto a la máxima posible para unas condiciones dadas de presión y temperatura.”

(Almanza, 2009)	Relación adimensional de la presión de vapor real del aire y la presión de vapor de saturación.
-----------------	---

VIENTO	
FUENTE	DEFINICIÓN
(García y Fuentes,1985)	Es un tipo de energía solar. La acción del sol y el movimiento de la rotación terrestre dan lugar a la presencia del viento en la tierra. Viento es aire en movimiento que se genera por las diferencias de presión y temperaturas atmosféricas, causadas por un calentamiento no uniforme de la superficie terrestre.

EFECTOS DE VIENTO	
FUENTE	DEFINICIÓN
(Olgay, 1998)	Los efectos del viento de la atmosfera libre se modifican y reducen a baja altura, a nivel del suelo se encuentra prácticamente en reposo [...] En la vivienda deben considerarse tanto exterior como interiormente, debido a la transmisión por convección y la infiltración.

RADIACIÓN SOLAR	
FUENTE	DEFINICIÓN
(Olgay, 1998)	“La cantidad de energía del sol que cae por unidad de tiempo sobre una superficie unitaria a 148, 000,000.0 Km del sol y perpendicular a sus rayos. [...] La radiación se convierte en calor y eleva la temperatura del aire, produciendo una radiación calorífica.”
(Almanza, 2009)	Emisión y propagación de energía electromagnética a través del espacio o de algún material.

1.6 TERMODINÁMICA Y TRANSFERENCIAS DE CALOR

Para el entendimiento de los procesos químico físicos de los materiales de los componentes en la envolvente arquitectónica con respecto al efecto que el clima provoca en ellos, es preciso identificar cómo se producen esos cambios a nivel macroscópico, por ese motivo en este apartado se hace alusión al tema del proceso relacionado con transferencia de energía entre ellos y como consecuencia principal: el intercambio de calor entre los materiales y el medio circundante.

Los conceptos que fundamentan los mecanismos básicos de transferencia de energía, son estudiados en la ciencia de la termodinámica, y pertenecen a una de las áreas de estudio de la química física.

Según Levine (2004) la química física se define como: “el estudio de los principios físicos fundamentales que gobiernan las propiedades y el comportamiento de los sistemas químicos.” (p. 1). Entendiendo como sistema químico a una porción de cuerpo o material que interesa estudiar, con una delimitación específica. Éstos pueden estudiarse de modo microscópico, el cual se basa en el concepto molecular o macroscópico, que estudia las propiedades de la materia de gran escala. (Levine, 2004)

Es así que la termodinámica se deriva del estudio del comportamiento de los sistemas químico físico ya sea de modo macroscópico o microscópico, que para en interés de esta investigación será estudiado a nivel macroscópico, ya que es de interés estudiar la materia y los componentes de la envolvente arquitectónica.

Entonces, que gracias a la revisión bibliográfica es posible definir a la termodinámica como una rama fundamental de la de la química física que se centra en el estudio del calor, la energía y el trabajo, así como los cambios en sus propiedades macroscópicas de los sistemas. Se deriva de las palabras griegas Therme (calor) y dynamis (potencia o fuerza). La relación entre temperatura y las propiedades macroscópicas de la materia fundamental para el análisis termodinámico. Un sistema termodinámico es la parte del universo que puede interactuar en un sistema. (Levine, 2004; Sánchez et al., 2015)

Para el caso de este estudio es de interés analizar las propiedades y comportamientos de sistema de calor, así como las transferencias energéticas y finalmente los modos de intercambio de calor. Dichos temas se resumen en el mapa conceptual de transferencias del calor

presentado a continuación en la figura 9, y se continuaran definiendo a lo largo del marco teórico de esta investigación.

Figura 9

Mapa Conceptual de las Transferencias de Calor



Nota: Fuente: basado en información del autor Levine (2004, p.1-3). Realizado por el Autor (Ríos, 2024).

A continuación se mencionan las leyes de la termodinámica que aportarán al estudio el entendimiento de cómo los elementos climatológicos inciden en la envolvente a nivel macroscópico, y tiene efectos de interacción energética en la materia, transformando la radiación solar en transferencia calórica hacia el edificio.

PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

“También conocida como Conservación de la energía, expresa que, en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; solo puede cambiar las formas” (Çengel, 2007, p.11). Esta ley aporta el entendimiento que, si no aislamos la radiación solar, toda esta que afecte al edificio, se mantendrá en la superficie del mismo y posteriormente transformada en conducción afectará los interiores del edificio ya sea por radiación del calentamiento de la envolvente o por convección por el calentamiento del aire.

SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Establece que la entropía de un sistema aislado siempre aumenta con el tiempo. Se puede considerar la entropía como una medida de desorden o aleatoriedad de un sistema. (Welty, 1984) Esta segunda ley aporta el entendimiento que el tiempo de exposición solar es equivalente a la afectación del edificio, es por eso la importancia de la implementación control de sombreado y la utilización de materiales de baja conductividad térmica que retarden los efectos de calentamiento por sobre exposición solar.

Es importante mencionar como los elementos climatológicos generan incremento en la temperatura en la superficie y el aire del interior de los edificios, a continuación, se describe la definición del calor y los tipos de transferencia de como este se transmite ya sea a nivel microscópico y macroscópico.

CALOR

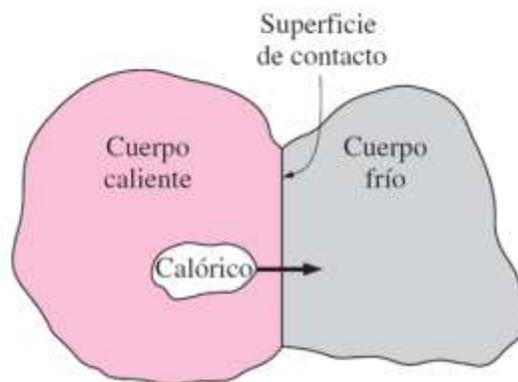
Está regido por la termodinámica, es la forma de interacción o intercambio de energía térmica, que se puede transferir de un sistema a otro a través del movimiento o vibración de partículas, como resultado de la diferencia en la temperatura. (Levine, 2004; Çengel, 2007; Parrilla, et al. 2017). Existen tres tipos principales de transferencia de calor: Conducción, convección y radiación. (Welty, 1984; Çengel, 2007)

CALOR POR CONDUCCIÓN

Es la transmisión de calor en forma de contacto directo de molécula a molécula en el mismo cuerpo o en contacto directo entre cuerpos u objetos. Se lleva a cabo en todas direcciones (Çengel, 2007). Ejemplo figura 10.

Figura 10

Los Mecanismos de Conducción de Calor



Nota: Fuente: Extraída del autor Çengel, (2007, p.4).

CALOR POR CONVECCIÓN

Es la transferencia de calor mediante el movimiento de fluidos (líquidos o gases), El calor se transmite al fluido por conducción (Çengel, 2007). Ejemplos figuras 11 y 12

Figura 11

Transferencia de Calor de Una Superficie Caliente Hacia el Aire por Convección.

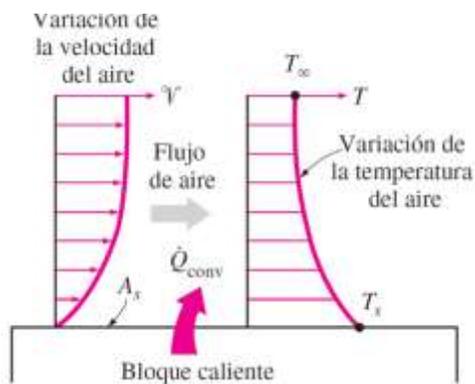
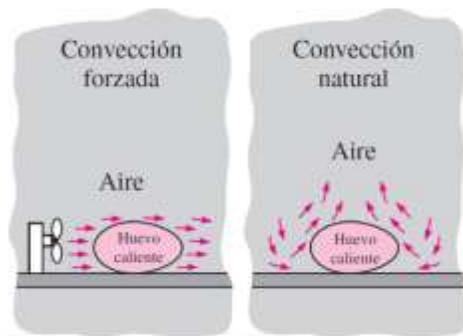


Figura 12

Ejemplo de Enfriamiento de Un Por Convección forzada y Convección Natural



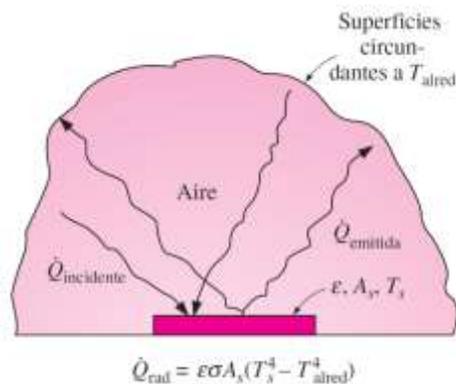
Nota: Fuente: Extraída del autor Çengel, (2007, p.26).

CALOR POR RADIACIÓN

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones). (Çengel, 2007). Ejemplo figura 13.

Figura 13

Transferencia de Calor Por Radiación Entre Una Superficie Y Las Superficies Que La Circundan.



Nota: Fuente: Extraída del autor Çengel, (2007, p.29).

La radiación es el tipo de transferencia de calor natural que más incide en los edificios, puesto que esta emana directamente de los rayos solares, y afectan de manera directa e indirecta. El intercambio de calor por radiación se percibe por medio de la piel, por cambios de temperatura de la misma piel, el vestido o las superficies que la rodean. El cuerpo intercambia calor por radiación no solo con el entorno sino con las partes mismas del cuerpo puesto que libera energía electromagnética.

El ambiente interior de una edificación y su relación con el clima responde a un conjunto de elementos reflejados por la envolvente del edificio, una envolvente eficaz tiene la capacidad de brindar refugio y protección a quien lo habita, actuando como filtro a los elementos dinámicos del clima. Estos son los responsables de transmitir calor o frío a los interiores.

La radiación calorífica que afecta a los edificios, “se divide en 5 tipos distintos, presentados por orden de importancia:” (Olgay, 1998, p.33)

1. Radiación de onda corta directa del sol
2. Radiación difusa de onda corta proveniente de la bóveda celeste
3. Radiación de onda corta producto de la reflexión de los terrenos adyacentes
4. Radiación de onda larga proveniente del suelo y los objetos cercanos cuya temperatura es elevada
5. Radiación de onda larga expedida en intercambio desde el edificio hacia el cielo

2.6.1 ENVOLVENTE DE LOS EDIFICIOS

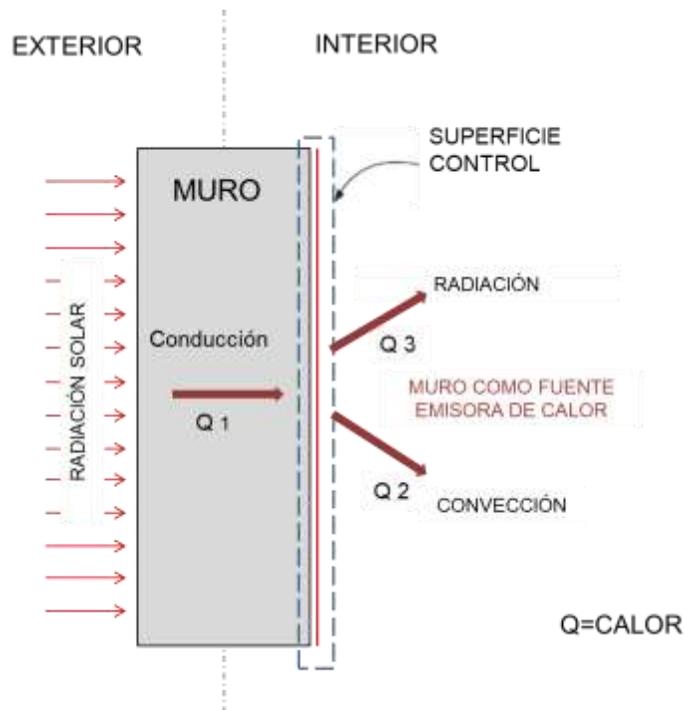
Mucho se ha mencionado a lo largo del capítulo el término de envolvente de los edificios, su definición es parte fundamental en el proceso de esta investigación, puesto que son los componentes que delimitan el interior de un edificio, siendo este espacio la zona de estudio de esta investigación. Basado en el manual técnico de la NOM-020-ENER-2011 se define como envolvente de un edificio a todos aquellos elementos que se encuentren expuestos a los elementos climatológicos y puedan generar ganancia calórica a un edificio. la envolvente de un edificio está compuesta por: Techos, muros exteriores, pisos, puertas y ventanas.

2.6.2 INTERACCION ENERGETICA EN LA ENVOLVENTE

La interacción entre la envolvente de un edificio y los elementos climatológicos se fundamenta en la manera en que el clima incide por medio de radiación solar principalmente, generando una interacción energética calorífica en la envolvente. El proceso desencadena ondas de calor mediante la radiación solar, dando lugar a la transmisión de calor por medio de los componentes de la envolvente. Este flujo térmico impacta las superficies interiores de los edificios aplicando la primera ley de la termodinámica, transformando esa conducción calorífica nuevamente a radiación. Como resultado, el aire interior se calienta, originando una transferencia mixta que involucra la radiación de calor desde la superficie del muro y el calentamiento del aire que se desplaza de manera convectiva. Esta interacción se ilustra en la figura 14, donde se presenta la representación de una sección de un muro como ejemplo de uno de los componentes de la envolvente.

Figura 14

Interacciones Energéticas en La Superficie de Un Muro, Esquema Ejemplo de Algún Componente de Envolvente.



Nota: Retomado del autor. Çengel (2007, p.14.) Realizado por el Autor (Ríos, 2024).

1.7 SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN PASIVA

Un sistema se define como un “conjunto de elementos con relaciones de interacción e interdependencia que le confieren entidad propia al formar un todo unificado. Un sistema puede ser cualquier objeto, cualquier cantidad de materia, cualquier región del espacio, etc.” (Jaramillo, 2007)

“Los sistemas de climatización, por sus características, se han denominado, como: sistemas pasivos, cuasipasivos, activos, híbridos, naturales, de auto climatización, entre otros. [...] Los sistemas pasivos se caracterizan por formar parte de las estructuras mismas de la edificación, configuradas y acopladas según la característica climatológica del lugar de tal manera que puedan captar, bloquear, transferir, almacenar o descargar energía en forma natural y casi siempre autorregulable, sin requerir dispositivos mecánicos o electromecánicos, que para activar y operar el sistema consuman combustibles fósiles o convencionales.” (Morillón, 2002, p.3)

Estos sistemas incluyen técnicas como sombreado, techos verdes, masa térmica y ventilación cruzada. El sombreado implica bloquear la luz antes que este ingrese a una estructura utilizando componentes estructurales como voladizos o sistemas de persianas. (Pereira et al., 2022).

Los techos verdes, funcionan según el principio de evapotranspiración para reducir la ganancia de calor. (Zoleikha et al.,2022)

La ventilación cruzada utiliza la inducción del viento para forzar el ingreso del aire frío a una estructura mientras expulsa el aire caliente, proporcionando enfriamiento natural. (Stenson, 2021)

Las estrategias pasivas utilizan las características naturales y los principios de la física arquitectónica para regular la temperatura interior de las construcciones, minimizando o eliminando la necesidad de emplear sistemas mecánicos.

1.7.1 CONTROL DE ENFRIAMIENTO

Tras el análisis teórico, se clasifican diversos métodos de enfriamiento pasivo, y se pueden dividir en 4 grupos principales, presentados en la siguiente tabla:

Clasificación de los sistemas pasivos de enfriamiento con base a los factores ambientales controlables para lograr una mejora en el comportamiento térmico del aire interior	MOVIMIENTO DEL AIRE	Enfriamiento con extractores de aire
		Claraboyas operables
		Aberturas a nivel de piso y alero
		Sistema de doble pared
		Aberturas en el techo: tipo monitor, chimenea y turbina
		Chimeneas de aire: Fijas y operables
		Chimeneas solares
		Ventilación solar inducida
		Sistema hill
		Torres de viento: Operación diurna y nocturna
		Respiradero de aire
		Ventilación cruzada
	TEMPERATURA DEL AIRE	Ductos subterráneos
		Edificaciones subterráneas
		Edificaciones con techos cubiertos de tierra
		Enfriamiento evaporativo
		Sistema de túnel
		Sistema chimenea
		Estanque de agua sombreado
		Enfriador regenerativo de lecho rocoso
		Torres de viento
	HUMEDAD	Sistema de techo dual por deshumidificación
		Sistema climatización solar pasivo
	RADIACIÓN	Sistema skyterm
		Trampa de radiación de techo
		Techo con aislamiento operable
		Sistema enfriamiento nocturno

1.7.2 MOVIMIENTO DEL AIRE

Un método adicional para la climatización de un edificio es por medio de la ventilación, está se define como el proceso de suministro y remoción de aire natural o acondicionado en un espacio. Este proceso se logra de tres maneras (Morillón y Oropeza, 2009, p. 9):

1. **Ventilación forzada:** Ésta se da de modo controlado tanto en flujo como en distribución puesto que se usan medios mecánicos para su aplicación, tiene como consecuencia un alto consumo energético.
2. **Ventilación por infiltración:** Es el intercambio de aire que circula de modo natural por medio de ranuras, vacíos o vanos de los edificios. Su infiltración puede darse “por presiones de viento o por diferencias térmicas. A pesar de que la infiltración no es controlada y por tanto es poco confiable, constituye una fuente de ventilación importante en los edificios.” (Morillón y Oropeza, 2009, p. 9)
3. **Ventilación natural:** se determina al intercambio de aire a través de las aberturas de los espacios, sean vanos, vacíos, etc. “La ventilación natural puede ser originada por dos causas: por presiones debidas al viento y por diferencias de temperatura entre el exterior y el interior. Ambas fuerzas pueden actuar de manera independiente o combinada”. (Morillón y Oropeza, 2009, p. 9)

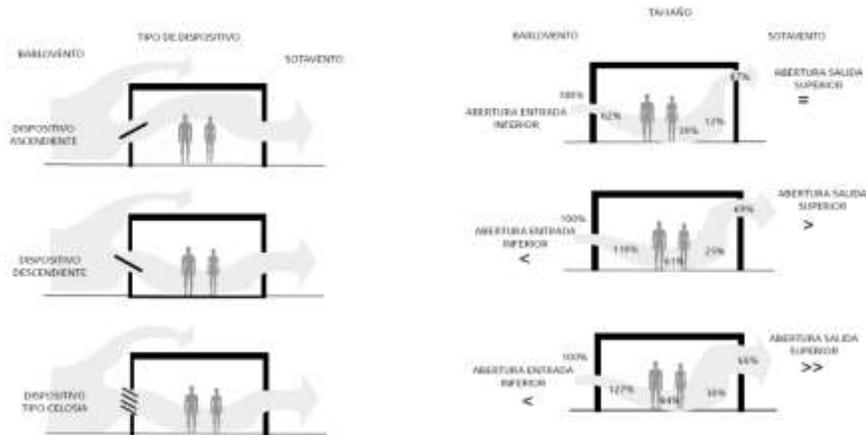
Es así como la climatización de modo natural en los edificios es muy factible puesto que se puede implementar como estrategia bioclimática pasiva, además que por la renovación de aire se coadyuva al concepto de edificio saludable. Para el estudio del viento deben considerarse tres principales características. La ventilación por infiltración es el método idóneo para los edificios está basado fundamentalmente en el aprovechamiento de los vientos dominantes del lugar o la creación de fenómenos convectivos que provoquen una abundante pérdida de calor, tanto en la estructura como en el interior habitable. Estas infiltraciones se dividen en vientos horizontales y vientos verticales, de los cuales pueden emplearse diversas estrategias de diseño bioclimático. (García y Fuentes, 1985)

MOVIMIENTOS HORIZONTALES

Todos los “efectos logrados por el flujo normal del viento, [se entiende] que son originados por el movimiento horizontal del aire” (García y Fuentes, 1985). Ejemplos, figura 15.

Figura 15

Ejemplos de Movimientos de Vientos Horizontales.



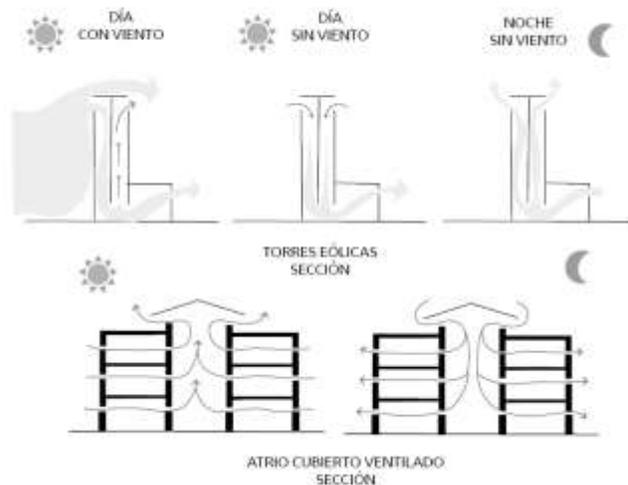
Nota: Información extraída de la publicación (*ambientes sostenibles*,2015, p.42).

MOVIMIENTOS VERTICALES

“Cuando el movimiento es originado por diferencias de temperatura y de presión, se crean flujos convectivos de viento ascendentes y descendentes o movimientos verticales del aire”. (García y Fuentes, 1985) Ejemplos, figura 16.

Figura 16

Ejemplos de Movimientos de Vientos Verticales.



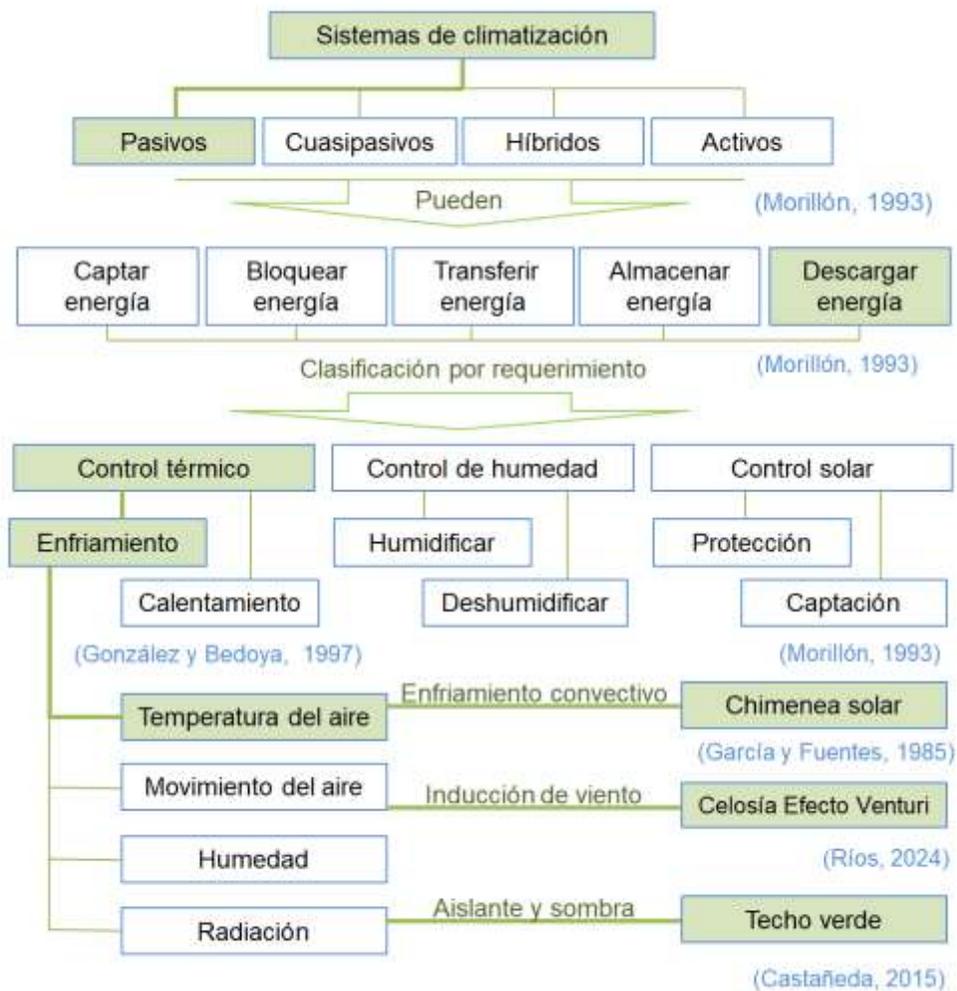
Nota: Información extraída de la publicación (*ambientes sostenibles*,2015, p.45).

1.7.3 SISTEMAS PASIVOS PARA CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO

Se empleó el software climate consultant 6.0 el cual tiene como sustento de ser usada por la ASHRAE y con la herramienta del archivo climático EPW de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se han determinado una serie de estrategias para emplear en el clima cálido subhúmedo, todas las estrategias se resumen en 2 tipos: Protección solar y enfriamiento por ventilación

Figura 17

Diagrama de Clasificación de Sistemas de Climatización para Clima Cálido Subhúmedo.



Nota: Presentación de diagrama basado en el análisis del Marco Teórico y el Estado del Arte, como los sistemas eficaces que integraran esta investigación. Realizado por el Autor (Ríos, 2024).

1.8 NMX-C-460-ONNCCE-2009

Para fines de esta investigación se hace referencia al Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación S.C. (2009). **LA NORMA MEXICANA NMX-C-460-ONNCCE-2009, INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - AISLAMIENTO TÉRMICO - VALOR "R" PARA LAS ENVOLVENTES DE VIVIENDA POR ZONA TÉRMICA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA - ESPECIFICACIONES Y VERIFICACIÓN.**

“Esta norma establece las especificaciones de resistencia térmica total (Valor "R") que aplican a las envolventes de las viviendas para mejorar las condiciones de habitabilidad y para disminuir la demanda de energía utilizada para acondicionar térmicamente su interior, de acuerdo a la zona térmica del estado en que se ubique.” (NMX-C-460-ONNCCE-2009, 2009, p.4) de la cual se retomaron las siguientes definiciones, de interés en el proceso de evaluación, análisis y resultados (p. 5-8).

Aislamiento térmico:

“Es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen o, lo que es lo mismo, por la capacidad de aislar térmicamente.” (p.5)

Conductancia térmica:

“Es la cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material o una estructura de espesor (L) dividida por la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría en condiciones estacionarias. Se representa por el símbolo "C" y sus unidades son W/m^2C .” (p. 6)

Conductividad térmica:

“Es la cantidad de calor transmitido por unidad de tiempo y área, no solo depende del espesor de la pared y del gradiente de temperatura, sino también de las propiedades intrínsecas del material en cuanto a su capacidad de conducir el calor. Se representa con el símbolo y sus unidades son W/mK .” (p. 6)

Nota 1:

“La conductancia térmica depende del espesor (L) del material, mientras la conductividad se refiere a la unidad de espesor de material.” (p. 6)

Resistencia térmica total de un elemento de la envolvente; Valor "R":

“Es la suma de las resistencias superficiales, interna y externa, y de las resistencias térmicas de las varias capas de los diversos materiales que componen al elemento de la envolvente, esta suma también es conocida como valor "R". Es el inverso del coeficiente total de transmisión de calor "K", sus unidades son m^2K/W .” (p.8)

Zona térmica:

“Zona geográfica con temperatura ambiente y humedad relativa determinadas.” (p.8)

1.9 CRITERIO TEÓRICO

El marco teórico consiste en asumir una línea de investigación que sirva como referencia para el estudio y la comprensión del problema. También implica la definición y comprensión de conceptos fundamentales que intervienen en el marco teórico. El objetivo del marco teórico es proporcionar una base teórica sólida para guiar todo el proceso de investigación. (Daros, 2002)

La integración del marco teórico y el estado del arte son fundamentales en el desarrollo de una base sólida y completa de la investigación. Al integrar el marco teórico con el estado del arte, se logra una conexión sólida entre la teoría existente y la investigación propuesta. Proporcionando así una base robusta y contextualizada para el estudio.

La combinación del conocimiento teórico con el estado del arte permite analizar los aportes teóricos, tecnológicos y estudios previos relacionado con el comportamiento térmico en los interiores. Esto proporciona las herramientas necesarias para contextualizar, regionalizar y adaptar las contribuciones nuestro entorno, es decir, no se está inventando nada nuevo, se están eligiendo posturas y adaptadas al entorno son capaces de lograr resultados óptimos. También se puede analizar que campos de la investigación tienen carencias para abundar en el conocimiento.

En el contexto de esta investigación, se ha concluido que un correcto sistema de enfriamiento que contenga por lo menos tres ecotécnicas ha dado resultados positivos para el clima cálido subhúmedo, concretamente en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Se destaca la necesidad de no depender únicamente de una sola tecnología, puesto que las mediciones han aseverado carencias en el proceso y no han logrado optimizar del todo el control del comportamiento térmico.

Las estrategias de enfriamiento pasivo más eficientes pueden dividirse en tres categorías principales:

- 1.- Utilizar materiales que por sus características termo físicas y de baja conducción térmica se integren al medio donde se construyen.

- 2.- Aplicar estrategias de protección solar nos permiten mitigar la radiación y el proceso de calentamiento que este conlleva en el objeto arquitectónico.

3.-coaccionar la inducción de viento selectivos al interior de la vivienda, es decir crear un correcto flujo de ventilación y circulación natural es indispensable, no solo se trata de dejar pasar correr el aire, este puede ser contraproducente, muchas veces el aire exterior es más caliente que el aire interior, deben buscarse filtros o modos de aceleración del aire para que ese pueda enfriarse a modo que incremente su velocidad.

Los componentes esenciales que integran al interior como el sistema, son la ventilación inducida y el aislamiento de radiación solar, los cuales deben estar apoyados con enotecnias para lograr efectos óptimos. Se busca lograr siempre una temperatura del aire interior menor que la temperatura del aire exterior.

Para caso de esta investigación se ha elegido emplear los siguientes sistemas de enfriamiento:

1.-Protección en vanos 1er componente del sistema: Elemento modular, que actúa como captador de viento, induciendo el aire al interior mediante el efecto Venturi.

2.-Protección solar en cubierta 2o componente del sistema: se busca un retraso térmico a través un aislante vegetal para la cubierta.

3.-Ventilación pasiva por convección 3er componente del sistema: Es un componte de chimenea solar, capaz de ventilar de manera vertical aprovechando la diferencia de presión en el aire generada por la diferencia de temperaturas.

Estos componentes, propuestos como sistemas pasivos, podrían adaptarse a situaciones específicas empleado elementos mecánicos de bajo consumo energético si fuera necesario, siempre con el objetivo de lograr una temperatura del aire interior menor que la temperatura de aire exterior.

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA

2.1 INTRODUCCIÓN DEL CAPÍTULO

En la ejecución de proyectos relacionados con el comportamiento térmico de los edificios, específicamente en estudios experimentales, se hace indispensable una metodología rigurosa y efectiva. En este contexto, la presente tesis adoptó la metodología general de la realización de proyectos propuesta por el Dr. Gabriel Castañeda Nolasco. Dada su naturaleza experimental, el enfoque se centra en realizar un método cuantitativo para medir y analizar aspectos numéricos vinculados con el comportamiento térmico del interior de los edificios.

Esta metodología se desarrolla en dos fases distintas: La primera, denominada fase de diagnóstico, aborda la identificación del problema, necesidades insatisfechas u oportunidades de negocio. La segunda, se refiere al desarrollo de la propuesta o alternativa de solución, en la cual se determinan las propuestas tecnológicas que puedan satisfacer el problema planteado.

En la segunda fase de la metodología se aplica el proceso de evaluación, ya sea por su viabilidad “económica, normativa, etc.” (Castañeda,2015). Se basa en la confrontación de causas identificadas en el estado del arte, generando propuestas evaluables y afinadas mediante ejercicios empíricos. Que para este estudio se evalúa por medio de la aplicación del método de diseño bioclimático de Víctor Olgyay. Este método que se divide en cuatro fases, se enfoca en adaptar el objeto arquitectónico al entorno físico natural, aprovechando los efectos de la naturaleza para crear condiciones de vida adecuadas. (Olgyay, 1998)

En conjunto, estas fases se integran en un enfoque multidisciplinario que aborda la realización de proyectos en el ámbito arquitectónico, considerando para este caso aspectos climatológicos, biológicos humanos y tecnológicos. En el proceso de aplicación de la tecnología del método bioclimático, se emplean herramientas de medición, análisis de antecedentes y estadísticas meteorológicas, que se evalúan por medio de simulación computacional, que finalmente servirán para el análisis y determinar que estrategia pueden emplearse en la aplicación del modelo arquitectónico en específico para su mejora en el comportamiento térmico interior.

A lo largo de este capítulo de la tesis, se detalla la aplicación de la metodología en cada fase de su proceso, desde la aplicación de datos climatológicos hasta la aplicación de arquitectónica de soluciones tecnológicas. La culminación de este proceso se alcanza mediante

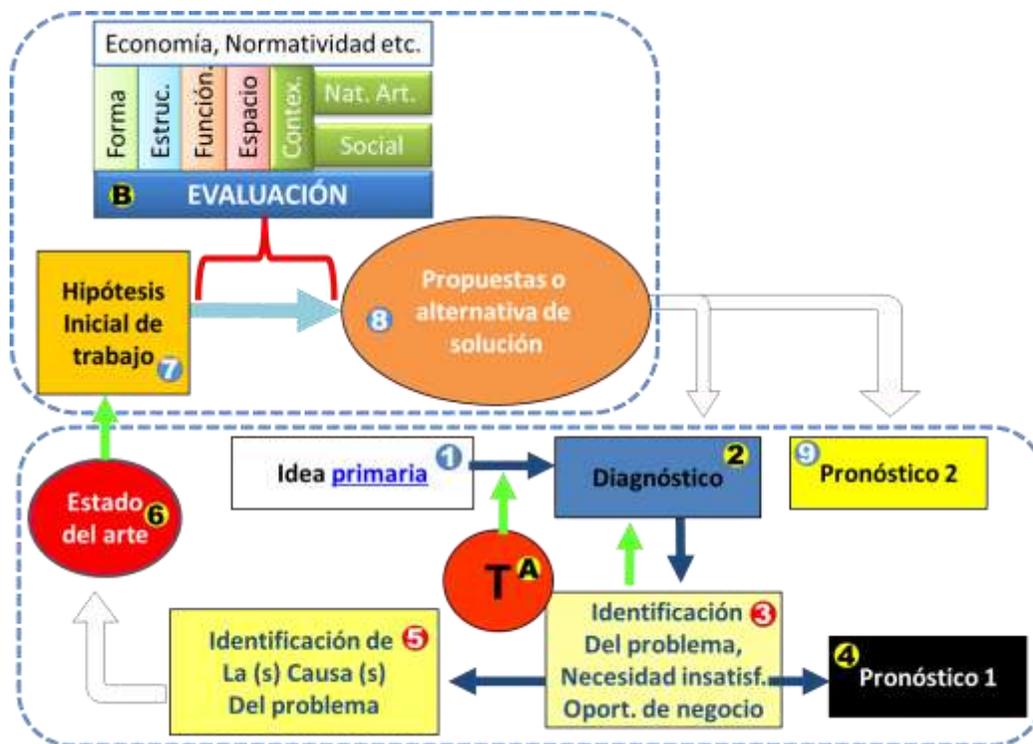
la propuesta de implementar un sistema ambiental que mejore las condiciones de comportamiento térmico, integrando ecotécnicas como la chimenea solar, celosía de efecto Venturi y protección solar con techo verde. Este sistema no solo busca optimizar el confort térmico el interior de los edificios para la mejora de la habitabilidad física y psicológica humana, sino también, como consecuencia reducir su impacto ambiental y logrando un equilibrio armonioso entre el edificio y su entorno natural.

2.2 METODOLOGÍA GENERAL DE REALIZACIÓN DE PROYECTOS

Por las características del proyecto y por ser un estudio de tipo experimental, que implica medir y analizar de manera numérica diversos aspectos relacionados con el comportamiento térmico de los edificios. La perspectiva con que se llevó a cabo esta investigación es por medio de la implementación del método general de la realización de proyectos del Dr. Gabriel Castañeda Nolasco. Según el autor, el método antes mencionado, se desarrolla por medio de dos fases, “la primera es la fase de diagnóstico, [...] [y] la segunda el desarrollo de la propuesta”. (Castañeda, 2015). Las cuales las sintetiza en el esquema presentado a continuación:

Figura 18

Esquema de Metodología General para Realización de Proyectos



Nota: Fuente: Extraída de presentaciones del autor (Castañeda, 2015).

Descripción de la metodología:

Fase 1, el diagnóstico:

“El diagnóstico inicia con la idea primaria, que con base a un marco teórico se identifica el problema, las necesidades insatisfechas y/o las oportunidades de negocio, lo que permite generar un pronóstico (negativo por falta de atención al problema).” (Castañeda,2015)

Fase 2, el desarrollo de la propuesta:

“Posteriormente se identifican las causas del problema, confrontando con el estado del arte se genera la propuesta inicial para ser evaluada y afinada con base en el ejercicio empírico (taller o transferencia), que después de ser afinada por la evaluación, se logra la propuesta final lo que nos llega a generar el pronóstico positivo”. (Castañeda, 2015). Que en el caso de esta investigación se logró por medio de la implementación de un sistema ambiental para mejora del comportamiento térmico en el interior de los edificios.

Para la utilización de este método es importante definir ¿Qué es un proyecto? Un proyecto es un esfuerzo temporal con el propósito de crear un producto, servicio o resultado único. Está caracterizado por tener un inicio y un fin definidos, así como contar con recursos limitados, como tiempo, recurso económico personal y herramientas o tecnología, que deben gestionarse efectivamente para lograr objetivos predefinidos. Los atributos principales asociados a la definición de proyectos son: Presupuesto, objetivo, autonomía, problemas, tiempo, espacio, diseño y acciones o actividades. Así mismo, las características clave de un proyecto incluyen: Temporalidad, únicos o específicos, con objetivos definidos, recursos limitados, planeación, organización, riesgos y cliente o entidad interesada. (Otero et al., P.2)

Entonces, “el proyecto es el resultado de un estudio [o análisis de investigaciones realizadas basado en metodologías o técnicas en específico], es la síntesis de un estudio y la propuesta una solución de necesidades insatisfechas, problemas no resueltos o las oportunidades de negocio. [En la cual se emplea la] ejecución de acciones [y se toma en cuenta] la planeación, recursos con los que se cuenta y la utilización de los recursos.” (Castañeda,2015)

2.3 MÉTODO EDIFICIO TÉRMICAMENTE EQUILIBRADO DE VÍCTOR OLGYAY

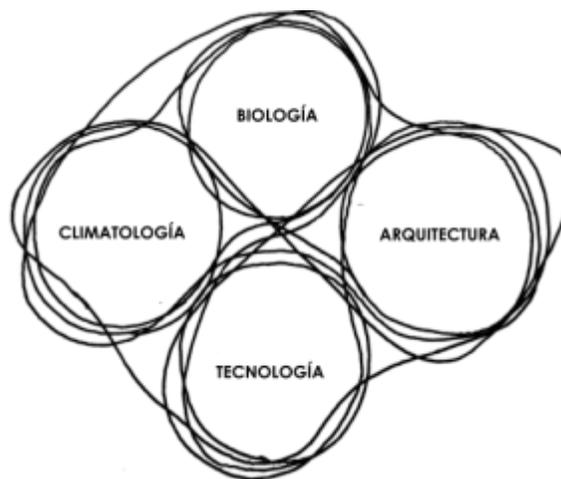
Para atender el problema planteado en la etapa de diagnóstico de la metodología, y como se menciona en el objetivo de la investigación, es preciso emplear métodos y estrategias que coadyuven a la mejora del comportamiento térmico en el interior de los edificios. Es entonces que, para la etapa de evaluación de la metodología, se utilizó el método cuantitativo para la creación de edificios térmicamente equilibrados de Víctor Olgyay. (Olgyay, 1998)

Se refiere al termino de edificio térmicamente equilibrado puesto que aplica tecnologías y estrategias que adaptan el objeto arquitectónico al medio físico donde se construye, esto con el fin de tener mejor eficiencia en el uso de la energía que este se pueda emplear en su funcionamiento y mejora las condiciones de confort en las sensaciones humanas tanto físicas como psicológicas con relación a los elementos climatológicos que lo rodean. “el proceso lógico sería trabajar con las fuerzas de la naturaleza y no en contra de ellas, aprovechando sus potenciales para crear unas condiciones de vida adecuadas” (Olgyay, 1998, p.10)

Para lograr un edificio térmicamente equilibrado, en esta tesis se hace la adaptación del método de diseño bioclimático de Víctor Olgyay, el cual en su proceso se divide en 4 Fases, descritas a continuación (Olgyay, 1998):

Figura 19

Representación de los Campos Interrelacionados del Equilibrio Climático



Nota: Fuente: (Olgyay, 1998, p.12).

1. Los datos climatológicos.

En esta fase se recopilan los datos climatológicos relevantes en donde se encuentra ubicado el objeto de estudio. “Los datos climáticos de una región deben analizarse según las características anuales de sus elementos constituyentes, es decir, temperatura, humedad relativa, radiación solar y efectos del viento.” (Olgay, 1998, p.11)

2. La evaluación biología.

En esta fase se consideran las sensaciones humanas de confort térmico y utiliza datos ambientales para generar una gráfica bioclimática. Con resultados tabulares que incluyen las variables del ubicación, clima, confort térmico y época del año.

3. Las soluciones tecnológicas.

Con la comprensión de los datos climatológicos y los rangos obtenidos de confort térmico, se exploran soluciones tecnológicas para optimizar el ambiente a trabajar. “La función esencial para lograr un refugio equilibrado se lleva a cabo mediante métodos de cálculo.” (Olgay, 1998, p.11)

4. La aplicación Arquitectónica.

En esta última fase con las conclusiones extraídas de las fases anteriores se aplican en el diseño arquitectónico. Se busca el equilibrio entre el objeto arquitectónico y el clima. Esto implica la implementación de soluciones tecnológicas adaptadas al contexto climático local.

Aplicación y descripción del método en este proyecto: El proyecto se centra en mejorar el comportamiento térmico en interiores de edificios a través de un enfoque multidisciplinario que aborda aspectos climatológicos, biológicos humanos y tecnológicos aplicados la arquitectura. Aquí se presenta una descripción de la aplicación del método en cada fase del proyecto.

1.- Datos climatológicos

A. Medición de la temperatura del aire: Se recopilan datos precisos sobre la temperatura del aire, por medio de estadísticas anuales, un factor crucial para comprender las variables y el comportamiento térmico del entorno.

B. Medición de la humedad relativa: La humedad térmica se mide para evaluar la sensación térmica y el confort humano.

C. Velocidad y dirección del viento: Estos datos son esenciales para entender la dinámica del aire, que puede afectar significativamente la percepción térmica.

2.- Evaluación biológica

A. Confort climatológico- Confort térmico: Se basa en las sensaciones humanas utilizando datos medioambientales contrastado con gráficas bioclimáticas y tablas de medición de temperatura anual. Esto permite evaluar el confort térmico y la relación entre la fisionomía humana y los elementos climatológicos.

3.Soluciones Tecnológicas:

“Deben utilizar las ventajas existentes, para lograr un refugio con condiciones equilibradas. Realizado a través de métodos de cálculo.” (Olgay,1998, p.11)

- A. Análisis de la envolvente:** Se realiza un cálculo según la normativa NOM-020-ENER-2011 para analizar de qué manera la envolvente del edificio actúa al comportamiento térmico en el interior del edificio.
- B. Evaluación de protección solar:** Se estudia la posición y trayectoria solar basada en la visualización de gráfica de los ángulos de proyección deseados y como incide está en el objeto arquitectónico, medido y analizado por medio del software sol-ar.6.02.
- C. Movimiento del aire:** Se estudia la velocidad y dirección del aire mediante base de datos estadísticos anuales, representado en gráficas y rosa de los vientos obtenidos del sitio web windfinder. El cual retoma datos de la estación meteorológica Tuxtla Gutiérrez/Terán.
- D. Simulación Termodinámica:** Simulación termodinámico de la envolvente con el software EnergyPlus™ NMX-460-ONNCE. Tecnología eficaz para evaluar y mejorar el rendimiento térmico de un edificio en diferentes condiciones climáticas a lo largo del año, y aplicando las diferentes variables de sistemas de climatización de enfriamiento pasivo, mediante integración de datos paramétricos.
- E. Modelado digital.** Proceso en el cual se modela el objeto arquitectónico con los sistemas de climatización más eficientes para la mejora del comportamiento térmico analizados en el punto D, por medio de del software Graphisoft Archicad versión 24.

Una vez teniendo el diagnóstico del comportamiento térmico con las soluciones tecnológicas y basado en datos informados cuantitativos se deben implementar estrategias bioclimáticas para mejorar las condiciones térmicas al interior del edificio.

4.-Aplicación arquitectónica:

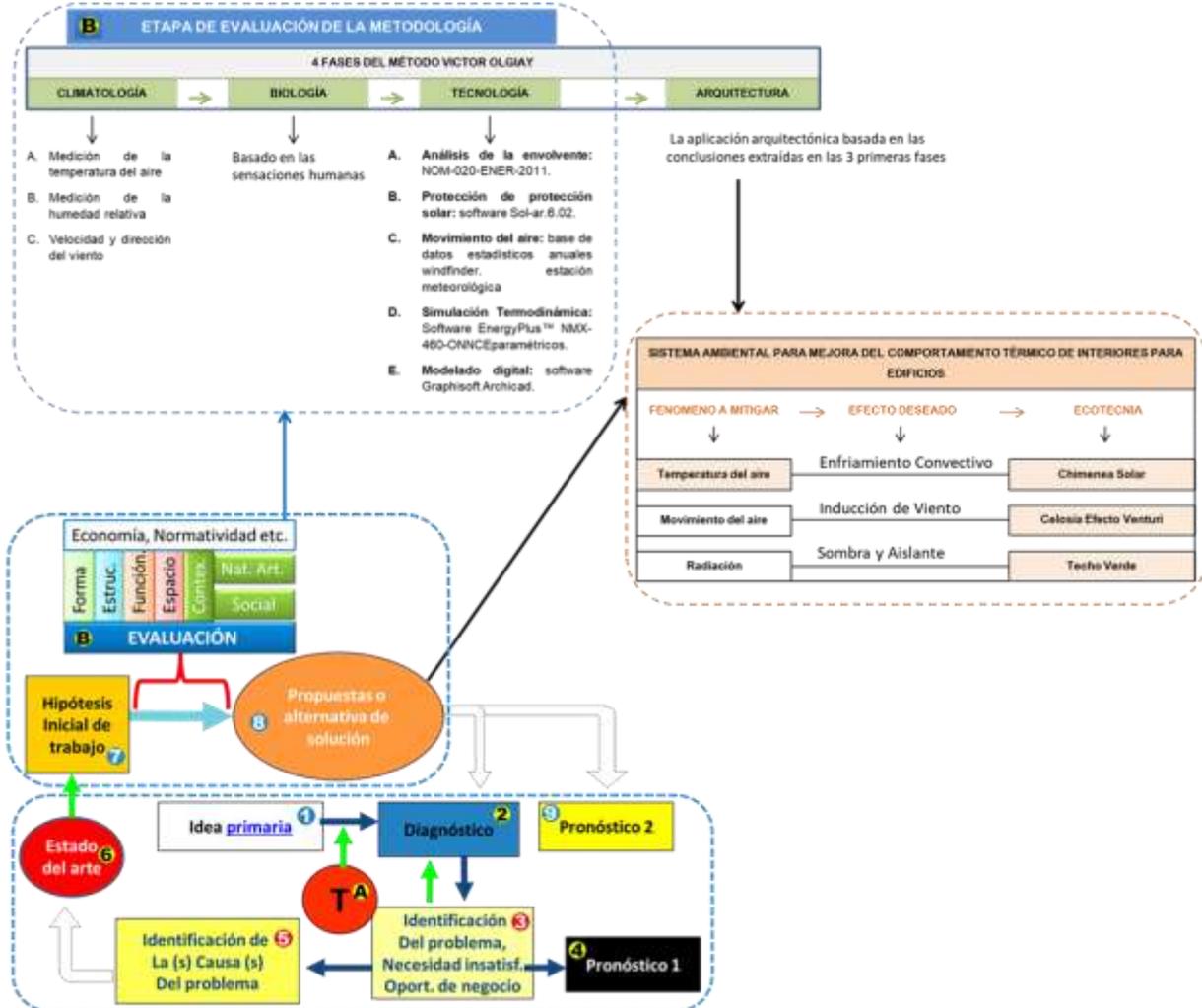
La aplicación de la arquitectura de este proyecto se realiza mediante la implementación de un sistema ambiental que combina estrategias bioclimáticas pasivas como la ventilación selectiva y la protección solar, con el objetivo de mejorar las condiciones del comportamiento térmico al interior del edificio y su habitabilidad. El proyecto arquitectónico se centra en diseñar un entorno que aproveche las condiciones climatológicas favorables y mitigue las desfavorables. La integración de datos climatológicos y soluciones tecnológicas resulta en un edificio térmicamente equilibrado con su entorno natural, optimizando la relación entre el medio físico construido y el ambiente natural. Lo importante de este enfoque integral es la búsqueda de mejorar las condiciones de un espacio interior confortables y eficiente, mejorando la calidad de vida de los ocupantes y a su vez reduce el impacto ambiental del edificio.

2.4 INTEGRACIÓN DE LOS MÉTODOS, ETAPA DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

La etapa final de la metodología se logra por medio de la triangulación de los métodos, que integra la etapa final de propuesta o alternativa de solución del Dr. Gabriel Castañeda Nolasco y la etapa de aplicación arquitectónica de Víctor Olgyay. Como se ilustra en la figura 20. En la que se propone la implementación de un sistema ambiental que mejorará las condiciones del comportamiento térmico, con el sustento teórico del bioclimatismo y las evaluaciones hechas en la etapa tres. Se desarrolla un sistema ambiental para la mejora termia de los edificios que integra ecotécnicas que logran efectos de enfriamiento pasivo por medio de efectos de enfriamiento convectivo, inducción de viento y aislante de radiación solar. Estos logrados por la utilización de Chimenea solar, celosía efecto Venturi y protección solar en la envolvente empleando la tecnología de techo verde.

Figura 20

Esquema de Integración de Métodos



Nota: Basado en el diagrama Dr. Gabriel, Fase B Evaluación y reinterpretación las 4 fases del método de Víctor Olgyay. Realizado por el Autor (Ríos, 2024).

2.5 CONCLUSIÓN METODOLÓGICA

Basado en la fase de diagnóstico que nos plantea necesidad presentada, en la teoría que fundamenta este estudio y la evaluación realizada en el proceso, se determina que emplear una metodología que convine la triangulación metodológica resulta ser una herramienta útil para mejorar el comportamiento térmico de los edificios, específicamente, mediante un sistema ambiental que incorpora componentes de climatización o ecotécnicas, para mejorar las condiciones térmicas del interior de los edificios, y mejora la habitabilidad física y psicológica humana. puede desarrollarse una síntesis de los puntos abordados en este proceso metodológico:

1. **Fundamentación teórica:**

Se sustenta teóricamente en el bioclimatismo, que busca aprovechar las condiciones climáticas locales para mejorar el confort térmico.

2. **Triangulación de métodos:**

Se emplea la triangulación de métodos, integrando la propuesta de solución de Gabriel Castañeda Nolasco y la paliación arquitectónica de Víctor Olgyay.

3. **Evaluaciones:**

Realización de evaluaciones tecnológicas por medio de simulación termodinámica de la envolvente con el software EnergyPlus™ NMX-C-460-ONNCCE-2009.

4. **Propuesta de solución**

La propuesta se centra en la implantación de un sistema ambiental para la mejora de las condiciones del comportamiento térmico en el interior de los edificios.

5. **Componentes del sistema ambiental**

Se incluyen ecotecnologías como chimenea solar, celosía de efecto Venturi y protección solar en la envolvente mediante sistema constructivo de techo verde.

6. **Efectos de enfriamiento pasivo**

El sistema ambiental logra efectos de enfriamiento bioclimático pasivo a través de proceso ventilación convectiva, inducción de vientos y aislamiento de radiación solar.

La metodología se centra en abordar la necesidad identificada a través de un enfoque teórico respaldado por el diagnóstico y la evaluación de datos cuantitativos concretos. La triangulación de la metodología proporciona un marco sólido para implementar un sistema ambiental que no solo mejora el comportamiento térmico, sino también cumple con criterios de sostenibilidad y bienestar humano físico y psicológico.

CAPÍTULO 3 DISEÑO DE PROPUESTA

3.1 INTRODUCCIÓN

Existen muchos tipos de sistemas: sistema solar, sistema métrico decimal, sistema computacional, sistema constructivo, por mencionar algunos ejemplos; pero todos se sintetizan a una unión, un conjunto, un grupo, una ordenación, etc. Por tanto, un sistema puede estar formado por cualquier elemento, y es la suma de esos elementos los que forman uno o varios componentes entre sí que juntos dan mayor sinergia al concepto de ese sistema.

Por otra parte, en el entendimiento de un sistema ambiental, es oportuno definir ambiente, según la RAE (2018) tiene diversos significados, pero para interés de este estudio se define como “adj. Que rodea algo o a alguien como elemento de su entorno”, como ejemplo se puede mencionar la temperatura o sonido ambiente, de ahí entonces el entendimiento del referente ambiental “adj. Perteneciente o relativo al ambiente”. (RAE, 2018)

El objeto de estudio es un ambiente interior delimitados por la envolvente arquitectónica, los cuales presentan comportamientos térmicos que requieren controla el calentamiento del aire interior. Estos elementos ambientales influyen en el bienestar de las personas. La interacción entre la envolvente arquitectónica y los elementos climatológicos genera cambios físicos significativos.

Para mejorar las condiciones interiores, se enfoca en componentes esenciales como la ventilación inducida y el aislamiento de radiación solar. El objetivo primordial es mantener la temperatura interior por debajo de la temperatura exterior. Como se abordó en el marco teórico, los sistemas de enfriamiento propuestos serán, la protección en vanos, protección solar y ventilación por convección.

Es entonces que este capítulo se definen el concepto de diseño de los componentes, materiales y ventajas del sistema ambiental. Así también, se describe módulo de estudio, sus dimensiones, materiales que lo componen y su ubicación geográfica. Finalmente se analizan las ventajas y como el sistema ambiental puede interactuar para la mejora térmica de los espacios interiores.

3.2 UBICACIÓN DEL MÓDULO EXPERIMENTAL Y SUS CARACTERÍSTICAS

El módulo experimental está construido a un costado del laboratorio de arquitectura bioclimática, de la facultad de arquitectura campus I, de la universidad autónoma de Chiapas, en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. Se muestra en la figura 21, con sus fachadas A) Sur, B) Este y C) Norte.

Figura 21

Módulo Experimental



Nota: vistas del módulo experimental y sus distintas fachadas y orientaciones. Fuente: fotografías realizadas por el Autor.

Sus medidas son: En planta 2.22m X 2.67m, a paños externos. Sus alturas: En su lado largo 2.86m y su lado corto 2.23m. como se muestra en la siguiente representación de la figura 22, tanto en planta como en sección.

Figura 22

Medidas de Módulo Experimental



Nota: Acotación en metros, escala gráfica. Fuente: Elaboración de grafico por el autor.

Los materiales que componen la envolvente son los siguientes:

Piso: Firme de concreto de 5.00 cm de espesor. Acabado pulido

Muros: Ladrillo de barro rojo recocido con un espesor de 13.00 cm y un recubrimiento de cemento-arena de 1.50 cm tanto en el paño interior como en el paño exterior, haciendo un espesor total muros de 16.00 cm.

Techo: Losa maciza de concreto armado de 10 cm de espesor.

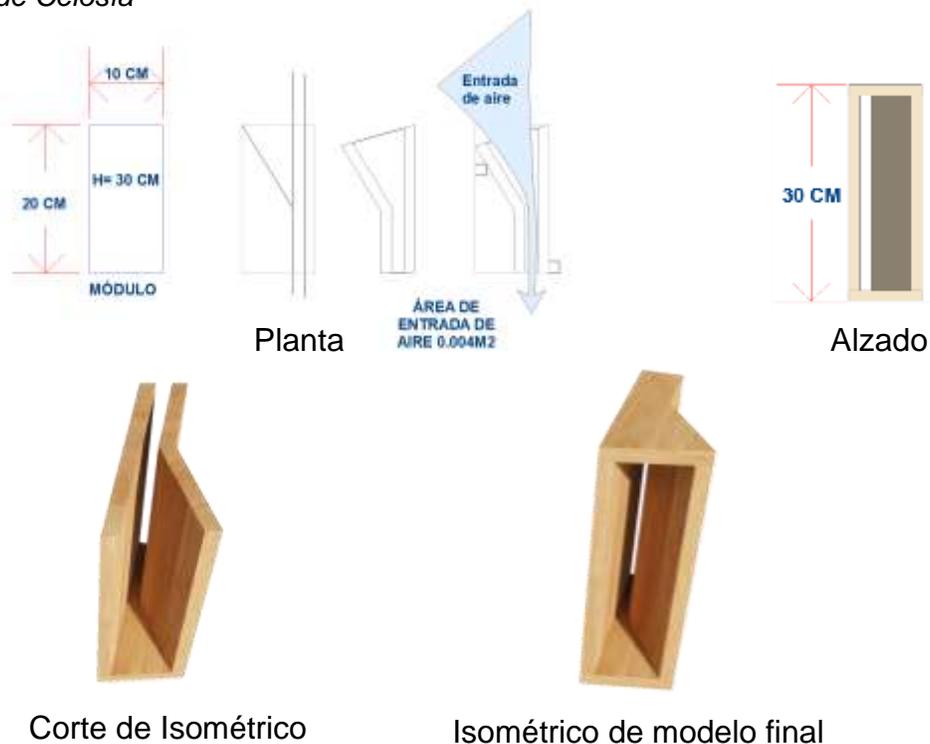
3.3 APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Para la simulación del módulo experimental se respetó la orientación del elemento arquitectónico, pero se simuló como un elemento aislado, ya que los edificios colindantes y la vegetación son factores que afectan al elemento en su evaluación y para fines de esta investigación no se abundará en la simulación del contexto circundante. Por su orientación el módulo está expuesto a la radiación solar en su fachada sur y en su fachada oeste. Basado en el Análisis teórico se proponen las siguientes cuatro propuestas de componentes para el desarrollo del sistema ambiental para el mejoramiento térmico:

Componente 1, Protección en vanos: Se diseñó el elemento modular de celosía, captador de viento, por el diseño de su forma induce el aire al interior generando un efecto Venturi a su paso, al generar este efecto se produce una selección de aire que lo enfría a su paso por medio de la aceleración. (García y Fuentes, 1985) La celosía se diseñó en un módulo replicable de 10 cm x 20 cm, con una altura de 30 cm. Tal como se ilustra en la imagen 23.

Figura 23

Modelo de Celosía

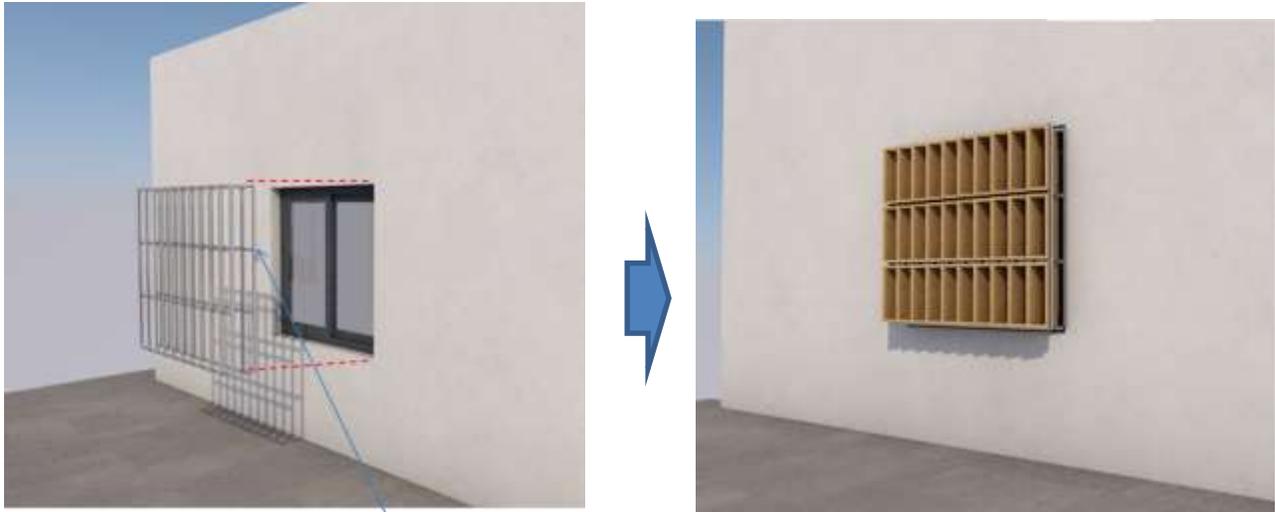


Nota: proceso de modulación y modelo final de celosía. Fuente: Grafico y diseño por el autor.

Al ser un componente modular se puede adaptar a cualquier tipo de ventana por medio de una retícula de aluminio sobre puesta fuera de los vanos. Tal como se ejemplifica en la figura 24.

Figura 24

Ejemplo de Montaje en Ventana



Nota: Ejemplo proceso de modulación y montaje de celosía y su estructura. Fuente: Grafico y diseño por el autor.

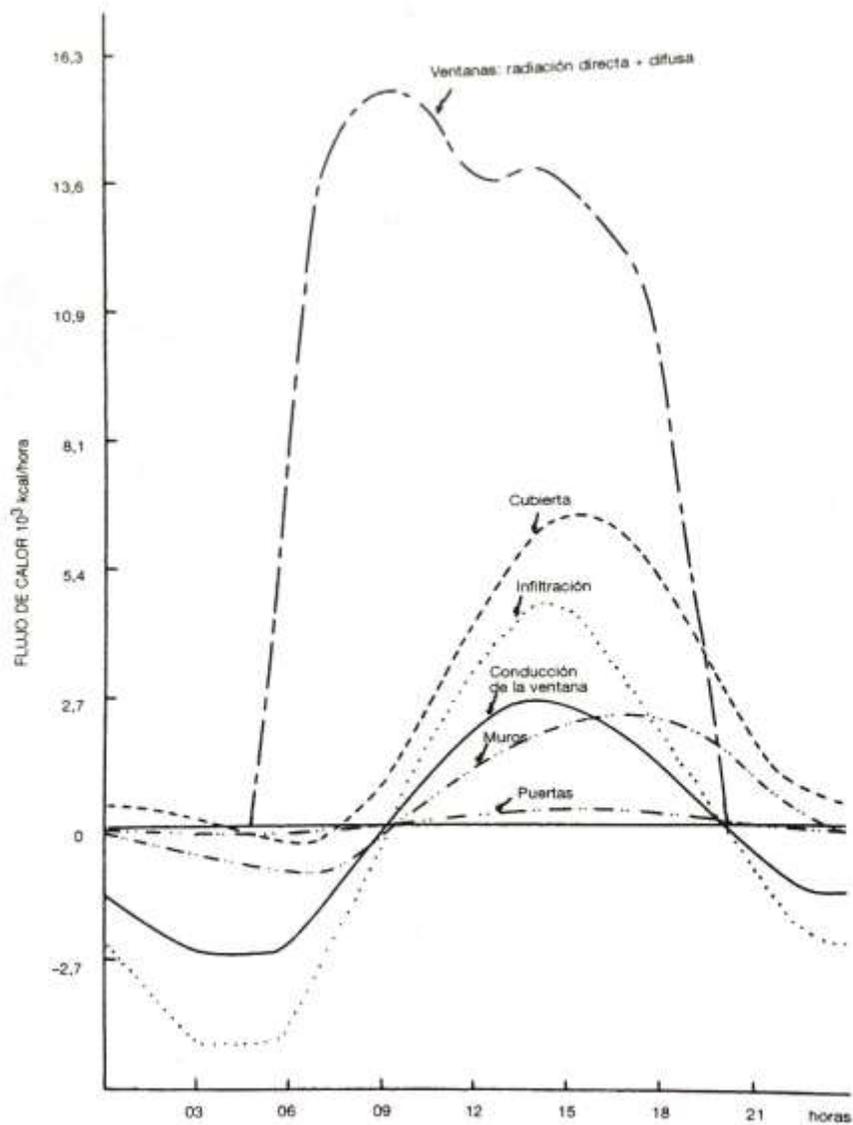
La elección de este primer componente de celosía y protección en vanos se debe a que ofrece las siguientes ventajas al implementarse en la arquitectura:

- 1) Mínima intervención a la envolvente.
- 2) Fácil montaje.
- 3) Modular.
- 4) Producción estándar en masa.
- 5) Protección solar.
- 6) Inducción de viento (efecto Venturi).
- 7) Al estar sobrepuesta en ventanas, se puede controlar flujo de aire y entrada de polvo.
- 8) Construcción progresiva.
- 9) Fácil sustitución de piezas.
- 10)

Otra justificante del componente 1 del sistema se basa según el autor Olgyay (1998) las ventanas son los elementos que permiten mayor entrada de calor al edificio. (p.72) lo demuestra en la gráfica de flujo calórico presentada en su publicación, expuesta en la figura 25.

Figura 25

Gráfica de Flujo Calórico Por Componentes



Nota: Fuente: En la gráfica se muestran los resultados de flujo calórico cuando pasa a través de los diferentes componentes de la envolvente (Olgyay, 1998, p.72).

Componente 2, Protección solar en techos: Techo Alternativo de cubierta verde, Se busca un retraso térmico a través un aislante vegetal para la cubierta. Ejemplo ilustrado en la figura 26.

Figura 26

Ejemplo de Techo Verde



Nota: Foto del laboratorio de arquitectura bioclimática de la facultad de arquitectura Campus-I, UNACH. Fuente: (Castañeda, 2015).

Se trata de un sistema constructivo alternativo, adaptado para Tuxtla Gutiérrez, compuesta por 5 capas en su construcción, (Trujillo et al., 2015, p.107) que se describen a continuación y se ilustra en la figura 27.

Capa1 Impermeabilizante: A base de membrana, de 4mm de espesor.

Capa 2 Drenante: PET compactado, de 3 cm de espesor.

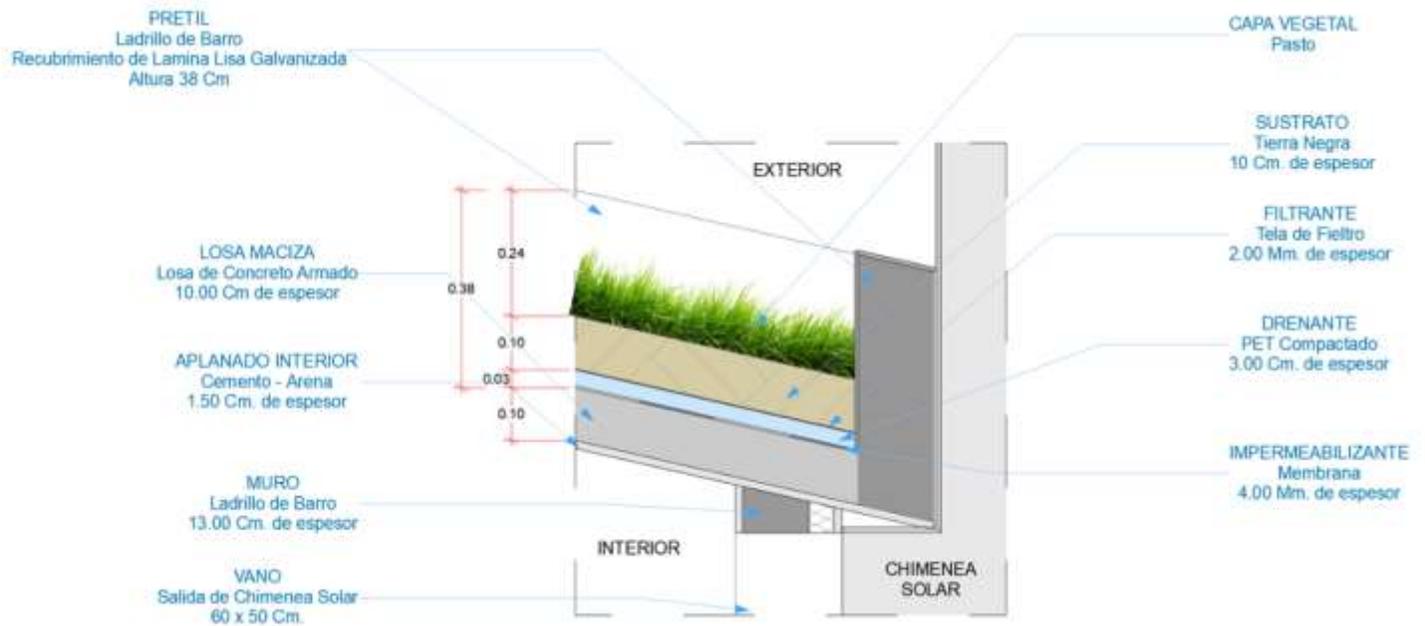
Capa 3 Filtrante: Tela de fieltro, de 2 mm de espesor.

Capa 4 Sustrato: Tierra negra, de 10 cm de espesor.

Capa 5 Capa vegetal: Pasto.

Figura 27

Detalle de Capas de Techo Verde



Nota: Basado en (Trujillo et al., 2015, p.107). Realizado por el Autor.

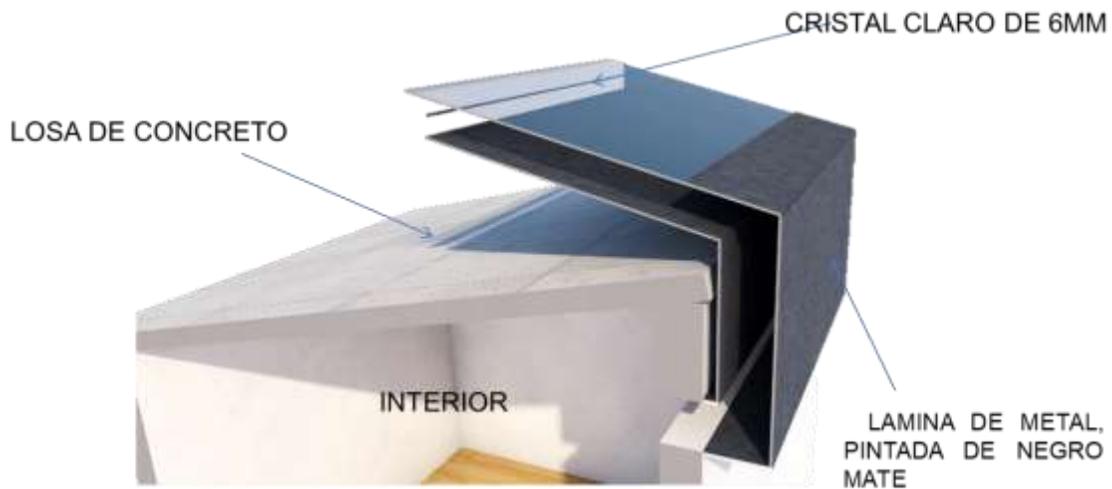
La elección de este segundo componente de techo verde en el sistema ambiental se debe a que ofrece las siguientes ventajas al implementarse en la arquitectura:

- 1) Reduce el paso de calor hasta por 19°C. (Castañeda y Vecchia, 2007)
- 2) Retardo térmico de 6 horas. (Castañeda y Vecchia, 2007)
- 3) Adaptación tecnológica a Tuxtla Gutiérrez.
- 4) Sistema de autoconstrucción.

Componente 3, ventilación pasiva por convección: Es un componente denominado chimenea solar, capaz de ventilar de manera vertical por convección debido a la diferencia de presión en el aire generada por la diferencia de temperaturas. (García y Fuentes, 1985)

Figura 28

Ejemplo De Chimenea Solar

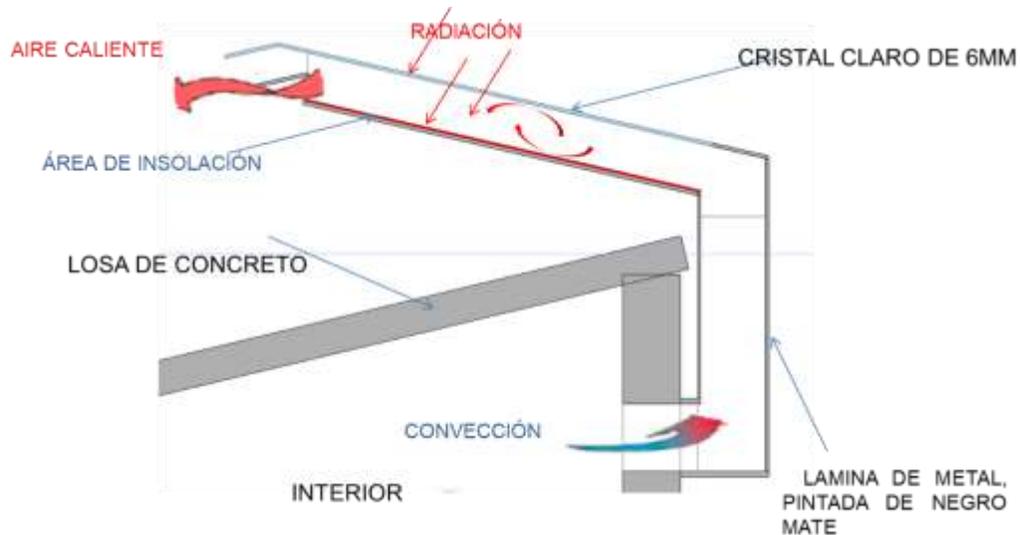


Nota: Modelo Isométrico de Chimenea Solar, Realizado por el Autor.

Es un elemento metálico que al estar expuesto a la radiación solar se calienta y ese mismo calor genera el cambio de presión de la temperatura obligando al aire del interior a ser expulsado por medio de la chimenea por efecto de succión, obligando a la recirculación y renovación del aire en el interior.

Figura 29

Detalle de Funcionamiento de Chimenea Solar



Nota: Gráfico en Sección de Chimenea Solar, Realizado por el Autor.

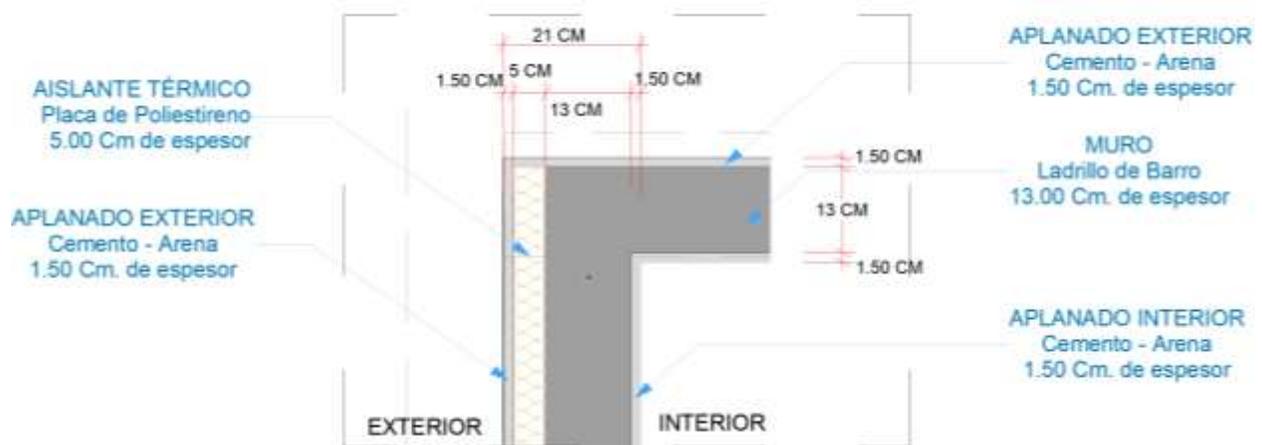
La elección de este tercer componente ventilación por convección en el sistema ambiental se debe a que ofrece las siguientes ventajas al implementarse en la arquitectura:

- 1) Capaz de generar movimiento de viento, pese a que en el exterior no haya velocidad en el aire, puesto que se genera por cambios de presión.
- 2) Genera una apropiada ventilación, renueva el aire mínimo 4 veces por hora.
- 3) Las chimeneas solares son más efectivas en las horas de mayor insolación. Es decir, cuantas mas radiación solar haya en el exterior, más efectivo será su comportamiento de ventilación al interior.
- 4) Reduce la temperatura del aire interior hasta por 7°C debido a su flujo de movimiento.

Componente 4, Retardante térmico en material de muros: El aislamiento térmico de placas de poliuretano de 2" es uno de los materiales más retardantes por su coeficiente térmico. Entonces, si se retarda la radiación a las materias en las horas de mayor soleamiento, será menor el calentamiento al que la envolvente arquitectónica este expuesta y como resultado será menos la afectación del aire interior cuando se encuentre en condiciones desfavorables.

Figura 30

Detalle Aplicación de Acabado de Espuma en Muros



Nota: Detalle en planta de sustitución de material en muros sur y oeste del módulo experimental). Realizado por el Autor.

3.4 FUNCIONAMIENTO INTEGRAL DEL SISTEMA AMBIENTAL

Una vez diseñado y demostradas las ventajas que el sistema ambiental ofrece por cada componente, se procede a explicar el funcionamiento integral de todas las ecotécnicas empleadas en el módulo experimental. En la figura 31 se ilustra como el módulo actúa sin ningún tipo ecotécnica que lo proteja de los elementos climatológicos. La envolvente es afectada y transmite calor al interior, representado de color rojo como aire caliente.

Figura 31

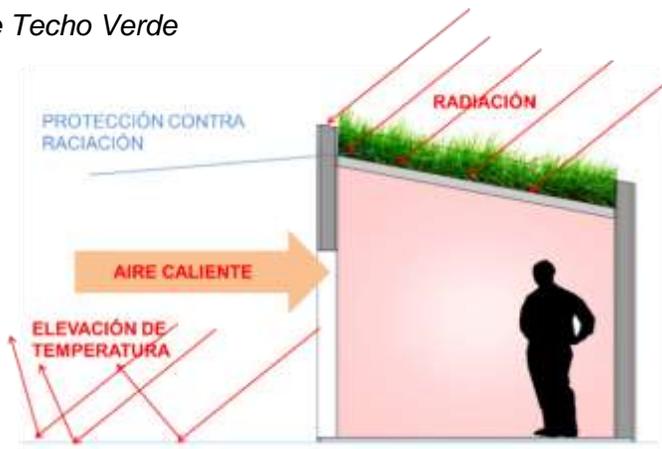
Módulo en Su Estado Actual



Al aplicar la ecotécnica del techo verde como protección solar, se logra abatir la radiación por techo por medio de aislamiento. Sin embargo, aún existe afectación por muros y, sobre todo, por ventanas debido al aire caliente que logra infiltrarse desde el exterior, como se ilustra en la figura 32. El techo verde logra bajar la temperatura del aire interior, pero una sola estrategia no es suficiente para mitigar el calor.

Figura 32

Implementación de Techo Verde



Es por eso que implementar una ecotécnia adicional es necesario para coadyuvar al aislamiento de techo verde. La chimenea solar ayuda a realizar este cometido, pero al hacer la inducción de aire por convección, lo que sucede es que por las ventanas estará llevando hacia el interior el aire caliente del exterior, y esto provocará que el aire interior y exterior queden en igual nivel de temperatura. Como se ilustra en la figura 33.

Figura 33

Implementación de Chimenea Solar.



Es entonces que, al implementar el control de inducción de aire por medio de las celosías, el sistema llegará a su eficiencia integral. Como se muestra en la figura 34. Al ser el aire un fluido, estará expulsando aire caliente por medio de la chimenea solar, obligando a las celosías captar ese vacío de aire. Las celosías por medio de efecto Venturi acelerarán e inducirán el aire que ingresará al interior del módulo experimental, representado en azul en la ilustración. Así finalmente se completa el ciclo de enfriamiento de manera integral mediante sistemas bioclimáticos pasivos.

Figura 34

Implementación de Celosías.



3.5 RESULTADO DEL DISEÑO

En las siguientes figuras de la 35 a la 37 se ilustra el resultado final del módulo experimental intervenido con el sistema ambiental para mejora del comportamiento térmico de interiores para edificios en clima cálido-subhúmedo.

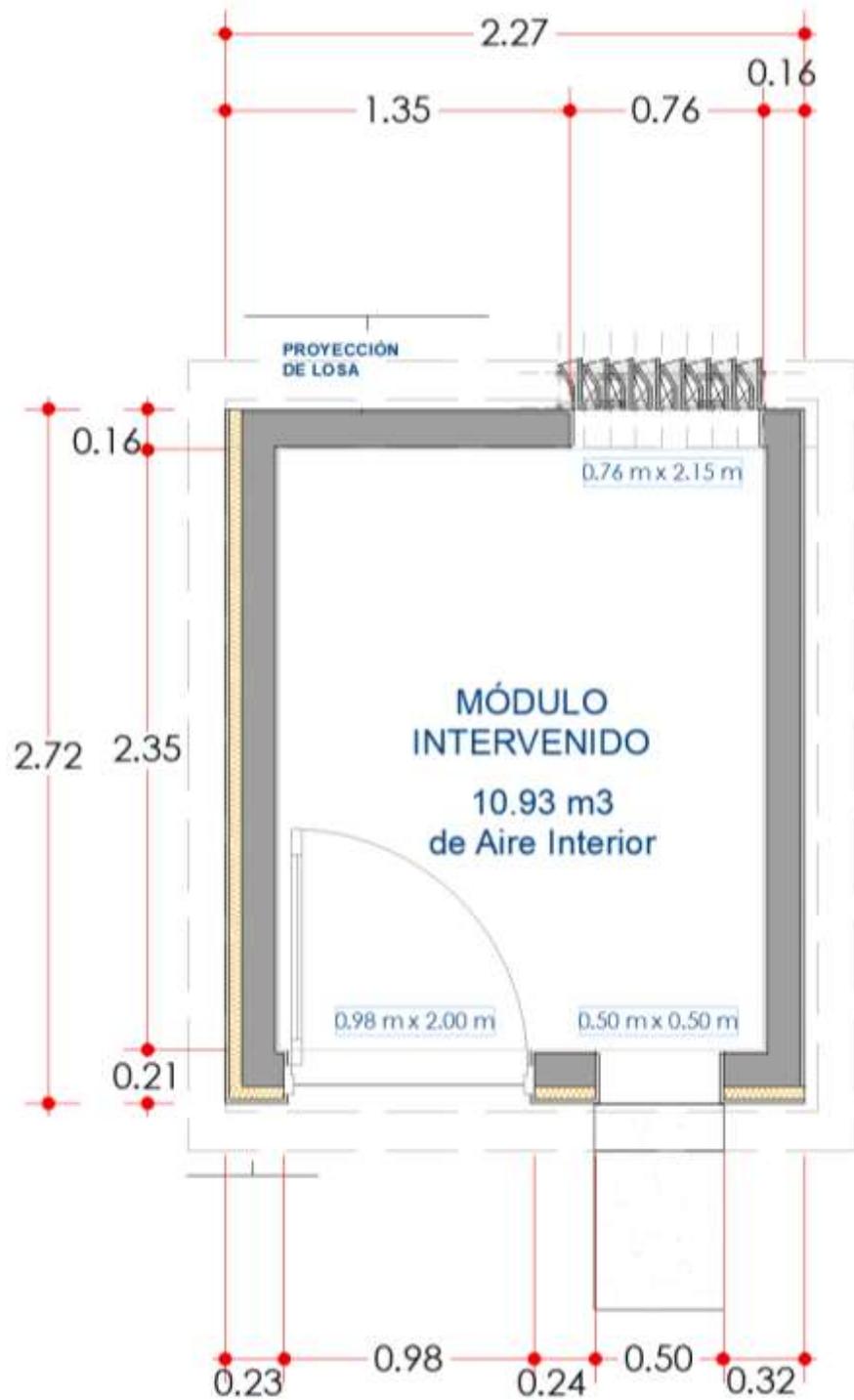
Figura 35

Isométrico de sistema Ambiental.



Figura 36

Planta Módulo Experimental Intervenido.



Nota: Planta arquitectónica de módulo experimental con sistema ambiental aplicado. Fuente: Grafico y diseño por el autor.

Figura 37

Resultado de Diseño de Experimental Intervenido.



Nota: Perspectiva de módulo experimental con sistema ambiental aplicado. Fuente: Grafico y diseño por el autor.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO TÉRMICO

Basado en la metodología, la evaluación del sistema ambiental se llevó a cabo mediante la simulación de los componentes de dicho sistema empleados en el módulo de experimentación. El proceso se desarrolla de la siguiente manera:

1.- Primer Paso, cálculo de valor R: Se determinó el valor de la resistencia térmica total (el Valor "R") de los materiales actuales, sin modificación, que conforman la envolvente del módulo de experimentación designado. Este paso se realizó mediante el cálculo de la tabla de Excel de los valores de materiales establecidos de la NMX-C-460-ONNCCE-2009 "Industria de la construcción – Aislamiento térmico – Valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana – Especificaciones y verificación". Estos datos están basados por el autor (Ruiz,2018), con la finalidad de analizar los rangos de mediciones reales y compararlos bajo el análisis de los parámetros del confort horario de temperatura de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez.

El valor R de los componentes se encuentran expresadas en las siguientes tablas. En la tabla 01 se expone la medición de valor R del sistema constructivo de muros y en la tabla 02 se expone la medición de valor R del sistema constructivo de losa maciza.

Tabla 03

Valor R en Muros: 0.417 m² °k/w

Material (**)	Espesor (m) b	Conductividad térmica (W/m ² K) h o K (***)	Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)]
rsi			
Aplanado mortero cemento arena	0.015	0.53	0.123
Ladrillo	0.13	0.814	0.028
Aplanado mortero cemento arena	0.015	0.53	0.028
rse	0.16	13	0.077
R			0.417 m ² K/W

Para obtener el aislamiento térmico total se debe sumar la "R" de todos los materiales y la convección exterior e interior.

Nota: Tabla de materiales, componentes de muro en estado actual, basado en los datos del autor (Ruiz,2018), elaboración (Sánchez, 2024).

Tabla 04

Valor R en Losa: 0.318 m² °k/w.

Material (**)	Espesor (m) b	Conductividad térmica (W/m ² K) h o K (***)	Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)]
Fsi			
Aplanado mortero cemento arena	0.015	0.53	0.152
Concreto armado	0.1	1.75	0.028
Impermeabilizante acrílico	0.001	0.2203	0.057
Fse			
	0.116	13	0.077
R			0.318 m ² K/W

Para obtener el aislamiento térmico total se debe sumar la "R" de todos los materiales y la convección exterior e interior

Nota: Tabla de materiales, componentes de losa en estado actual, basado en los datos del autor (Ruiz,2018), elaboración (Sánchez, 2024).

Para diagnosticar el nivel de intervención que requiere mejora, los resultados de Valor R se contrastaron con los valores asentados en la zona térmica para la república mexicana, como se muestra en la Figura 35. En el caso de Chiapas, se ubica en la zona térmica 1 y 2, específicamente para el municipio de Tuxtla Gutiérrez se ubica en la zona térmica 1, como se detalla en la figura 38.

Figura 38

Zonas Térmicas de la República Mexicana.



Nota: Gráfica solo ilustrativa, Fuente: NMX-C-460-ONNCCE-2009, p.13.

Tabla 05

Zona Térmica de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Estado	Localidad	Zona Térmica
Chiapas	Comitán	2
	San Cristóbal	1
Chiapas	Ocosingo	2
	Tapachula	1
	Tonalá	1
	Tuxtla Gutiérrez	1

Nota: Fuente: NMX-C-460-ONNCCE-2009, p.14.

En siguiente Tabla 04, se exponen los valores requeridos para lograr desde una resistencia térmica ya sea mínima, de habitabilidad o para representar un ahorro energético en la vivienda. De acuerdo a la zona 1 correspondiente a Tuxtla Gutiérrez los valores son los siguientes:

Tabla 06

Resistencia Térmica Total (Valor "R") de Un Elemento de La Envolvente.

Zona Térmica No.	Techos m ² K / W (ft ² h °F /BTU)			Muros m ² K / W (ft ² h °F /BTU)			Entrepisos Ventilados m ² K / W (ft ² h °F /BTU)		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía
1	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	NA	NA	NA
2	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	0,70 (4,00)	1,10 (6,00)	1,20 (7,00)
3A, 3B y 3C	1,40 (8,00)	2,30 (13,00)	2,80 (16,00)	1,00 (5,70)	1,23 (7,00)	1,80 (10,00)	0,90 (5,00)	1,40 (8,00)	1,60 (9,00)
4A, 4B y 4C	1,40 (8,00)	2,65 (15,00)	3,20 (18,00)	1,00 (5,70)	1,80 (10,00)	2,10 (12,00)	1,10 (6,00)	1,80 (10,00)	1,90 (11,00)

Nota: Fuente: NMX-C-460-ONNCCE-2009, p. 9.

De igual manera, como en los componentes del estado actual del módulo experimental, se procedió al cálculo del Valor R de los materiales de la envolvente con el sistema alternativo de techo verde, expuesto en la Tabla 07. Y el componente de muros de la envolvente con el material de poliestireno, expuesto en la Tabla 08, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 07

Valor R en Techo Verde: 1.56 m² °k/w.

Material (**)	Espesor (m) b	Conductividad térmica (W/m ² K) h o K (***)	Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)]
R_{si}		6.6	0.152
Aplanado mortero cemento arena	0.015	0.53	0.028
Concreto armado	0.1	1.75	0.057
Impermeabilizante acrílico	0.001	0.2203	0.005
Plástico	0.003	0.44	0.007
PET	0.0005	0.29	0.002
Aire	0.02	0.025	0.800
PET	0.0005	0.29	0.002
Filtro	0.004	0.041	0.098
Sustrato	0.1	0.3	0.333
R_{se}	0.244	13	0.077
R			1.560 m ² K/W

Para obtener el aislamiento térmico total se debe sumar la "R" de todos los materiales y la convección exterior e interior

Nota: Tabla de materiales componentes de techo verde, basado en los datos del autor (Ruiz,2018), elaboración (Sánchez, 2024).

Tabla 08

Valor R en Muros Con Aislante Térmico: 1.845 m² °k/w.

Material (**)	Espesor (m) b	Conductividad térmica (W/m ² K) h o K (***)	Aislante térmico (m ² C/K) Fórmula [b/(h o k)]
R_{si}		8.1	0.123
Aplanado mortero cemento arena	0.015	0.53	0.028
Ladrillo	0.13	0.814	0.160
Poliestireno	0.05	0.035	1.429
Aplanado mortero cemento arena	0.015	0.53	0.028
R_{se}	0.21	13	0.077
R			1.845 m ² K/W

Para obtener el aislamiento térmico total se debe sumar la "R" de todos los materiales y la convección exterior e interior

Nota: Tabla de materiales componentes de muro con aislante térmico de poliestireno, basado en los datos del autor (Ruiz,2018), elaboración (Sánchez, 2024).

2.- Segundo Paso, simulación del módulo actual: Utilizando el software de SketchUp junto con el plugin Euclid de EnergyPlus™, se procedió a modelar energéticamente el módulo experimental en su estado actual, sin aplicación de estrategias bioclimáticas. Posteriormente en el editor de archivos de datos (input data file IDF)-editor, se introdujeron los datos al software en archivos EPW, que contienen registro de las normales climatológicas con una medición de datos con un periodo de 1981-2010. También se incluyó información como la conductividad térmica de los materiales (obtenidos de los datos de valor R), orientación del modelo, y componentes de la envolvente, los cuales ayudaron a simular y obtener datos tales como temperatura del aire interior, y temperaturas superficiales interiores y exteriores de la envolvente.

La simulación del módulo se realizó en un periodo de medición del año completo y las 24 horas de cada día, en el cual el software generó datos numéricos, interpretados en Excel, lo que permitió posteriormente realizar gráficas de temperaturas y horarios, que coadyuvaron a los resultados y análisis de esta investigación. Esto con la finalidad de identificar el día típico experimental más caluroso así como el más frío del año, y también identificar el periodo cálido del año. Las distintas mediciones más relevantes para esta investigación se presentan en las siguientes Tablas:

Tabla 09

Variación Anual de Temperatura del Aire Exterior.

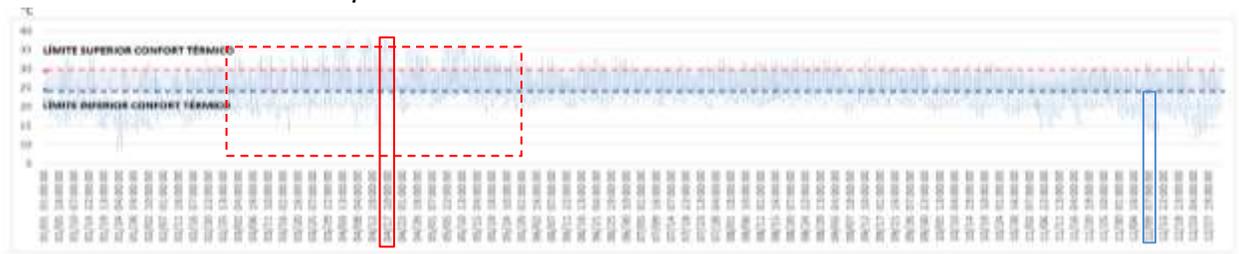
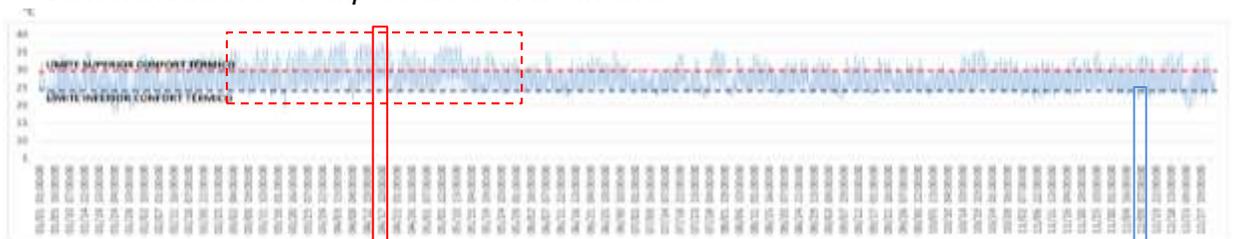


Tabla 10

Variación Anual de Temperatura del Aire Interior



Nota: Gráficas de medición de temperatura anual, donde se muestran los días típicos experimentales cálidos y fríos del año. Y el periodo cálido del año. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráficas realizadas por el autor.

Después de obtener la medición anual de la temperatura del aire exterior y del aire interior, se procedió a identificar, el periodo más caluroso del año basado en la medición de temperatura del aire interior del módulo. Este periodo se determinó en periodo cálido representativo del 2 de marzo al 29 de mayo, como se detalla en las Tablas 11 a 13. Se seleccionó este periodo debido a que se observaron coincidencias en la temperatura, identificando rangos de meses en los que predominan los días con temperaturas fuera del límite de confort térmico al interior establecido por el confort horario de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Tabla 11

Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Marzo.

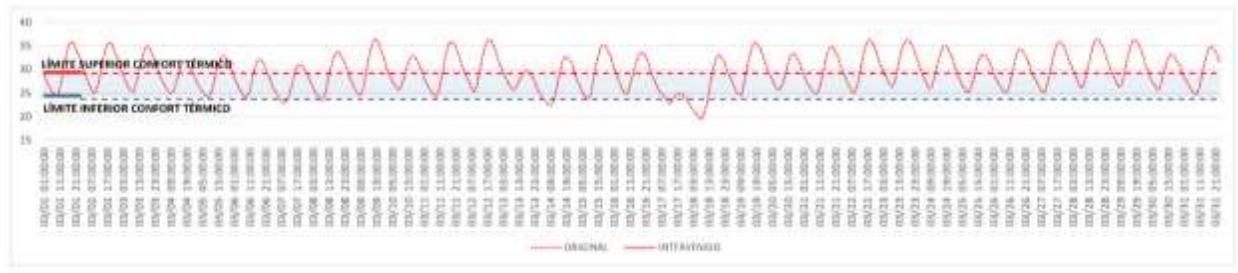


Tabla 12

Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Abril.

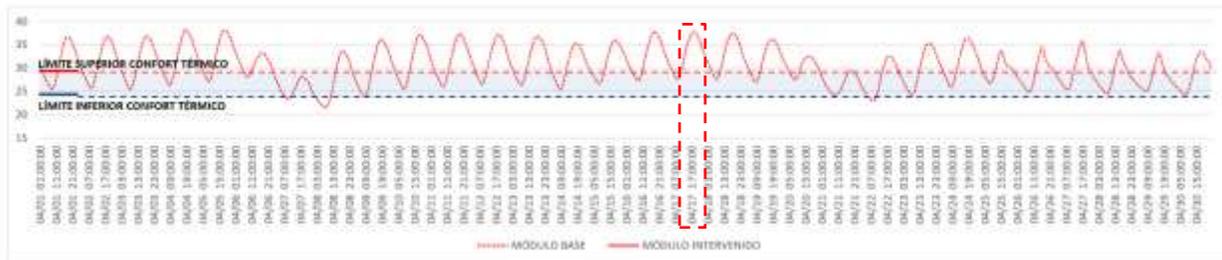
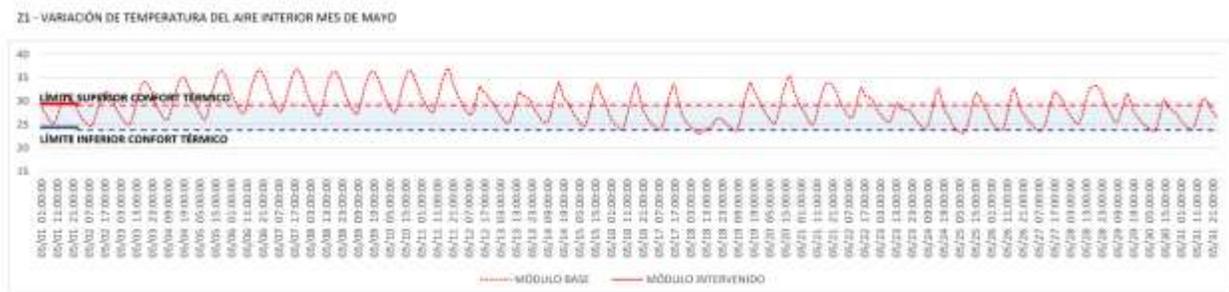


Tabla 13

Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Mayo.

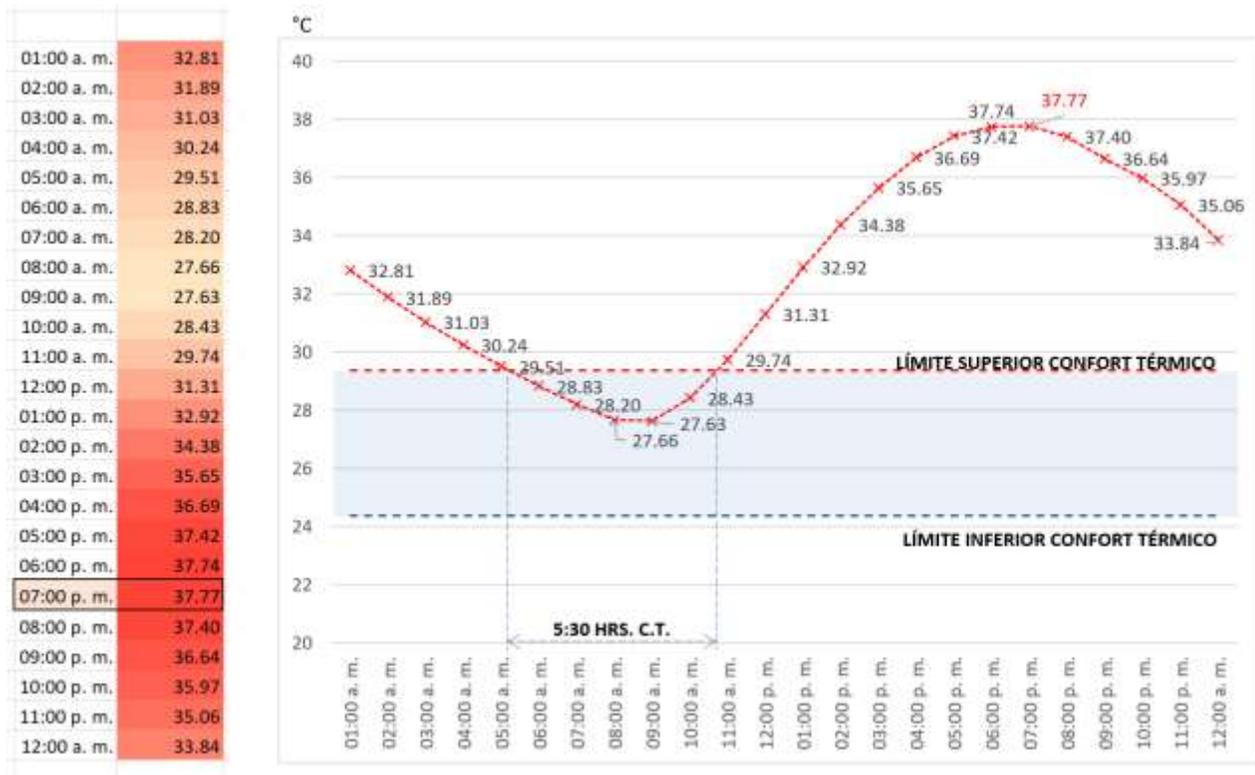


Nota: Gráficas de medición periodo cálido, donde se muestra típico experimental. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráficas realizadas por el autor.

Posteriormente se analizó el día típico experimental, basado en la climatología dinámica (Vecchia, 1997) que representa el perdido más caluroso y con rangos de temperatura que se repiten constantemente en varios días del año. Este día típico experimentan se identificó como el 17 de abril, cuando se registraron temperaturas del aire exterior de 37.58°C y temperaturas de aire interior de 37.77°C, a las 19:00 horas, como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14

Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Cálido.

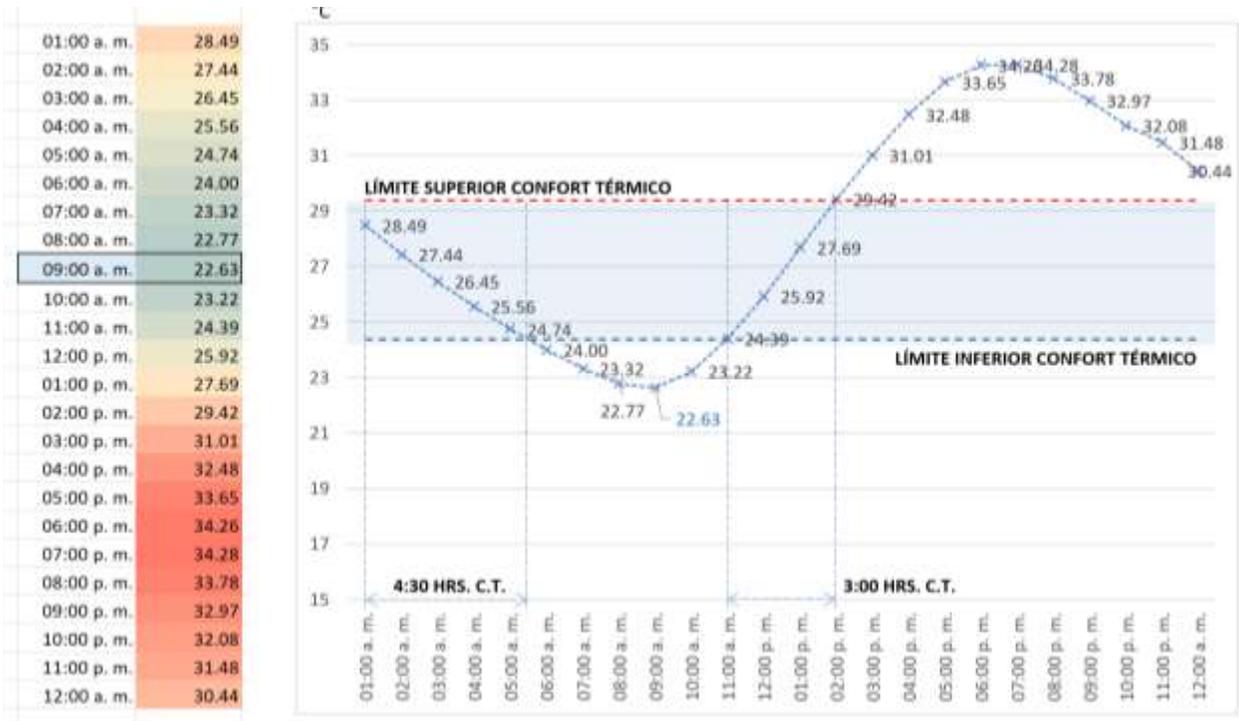


Nota: Gráfica de medición de temperatura interior del 17 de abril, en un periodo de 24 horas, presentando 5.5 horas dentro del rango de Confort Térmico. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

De igual manera, se analizó el día típico experimental para el periodo frío. Este día se identificó como el 9 de diciembre, cuando se registraron temperaturas del aire exterior de 17.40°C y temperaturas de aire interior de 22.63°C, a las 9:00 horas, como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Frío.



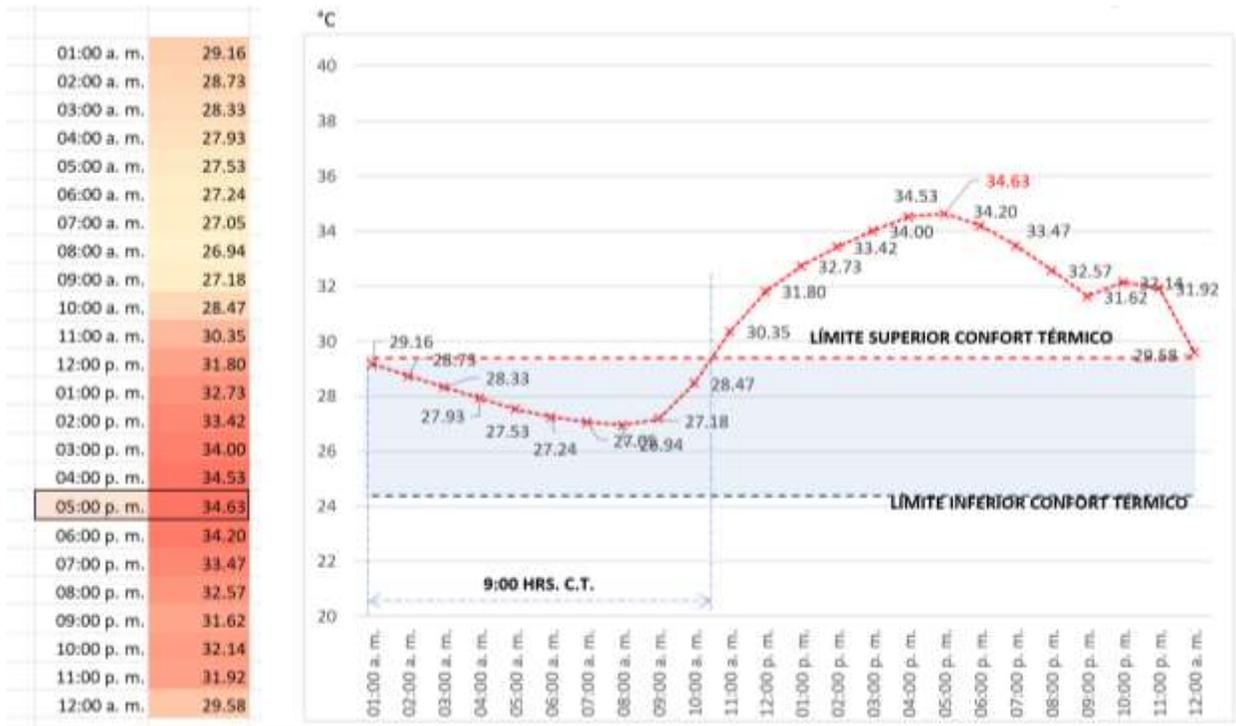
Nota: Gráfica de medición de temperatura interior del 9 de diciembre, en un periodo de 24 horas, presentando 7.5 horas dentro del rango de Confort Térmico. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

3.- Tercer Paso, simulación del módulo intervenido: Luego de simular el módulo de experimentación en su estado actual, se procedió a repetir el proceso de simulación de los pasos 1 y 2, en los mismos periodos y días típicos experimentales, ahora con la variable de aplicar las estrategias bioclimáticas en el módulo, expuestas en la etapa de diseño, seleccionando los rangos superiores e inferiores de temperatura para su contrastación y análisis de resultados.

Se analizó el día típico experimental para el periodo cálido. Con la intervención del sistema ambiental, se registraron temperaturas del aire exterior de 37.58°C y temperaturas de aire interior de 34.63°C, a las 19:00 horas, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16

Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Cálido.

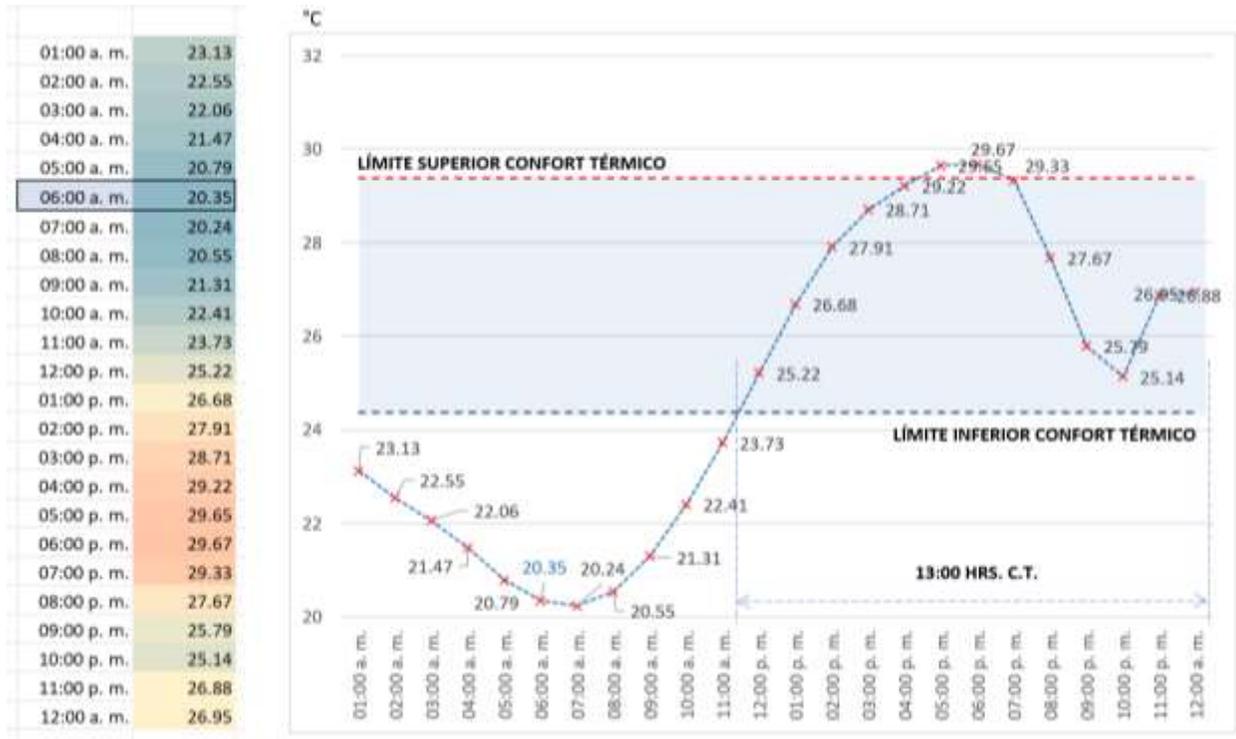


Nota: Gráfica de medición de temperatura interior en módulo intervenido, del día 17 de abril, en un periodo de 24 horas, presentando 9 horas dentro del rango de Confort Térmico. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

Agregando al proceso de simulación, se analizó el día típico experimental para el periodo frio con la intervención del sistema ambiental, se registraron temperaturas del aire exterior de 17.40°C y temperaturas de aire interior de 20.35°C, a las 6:00 horas del día 9 de diciembre, como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Frio.



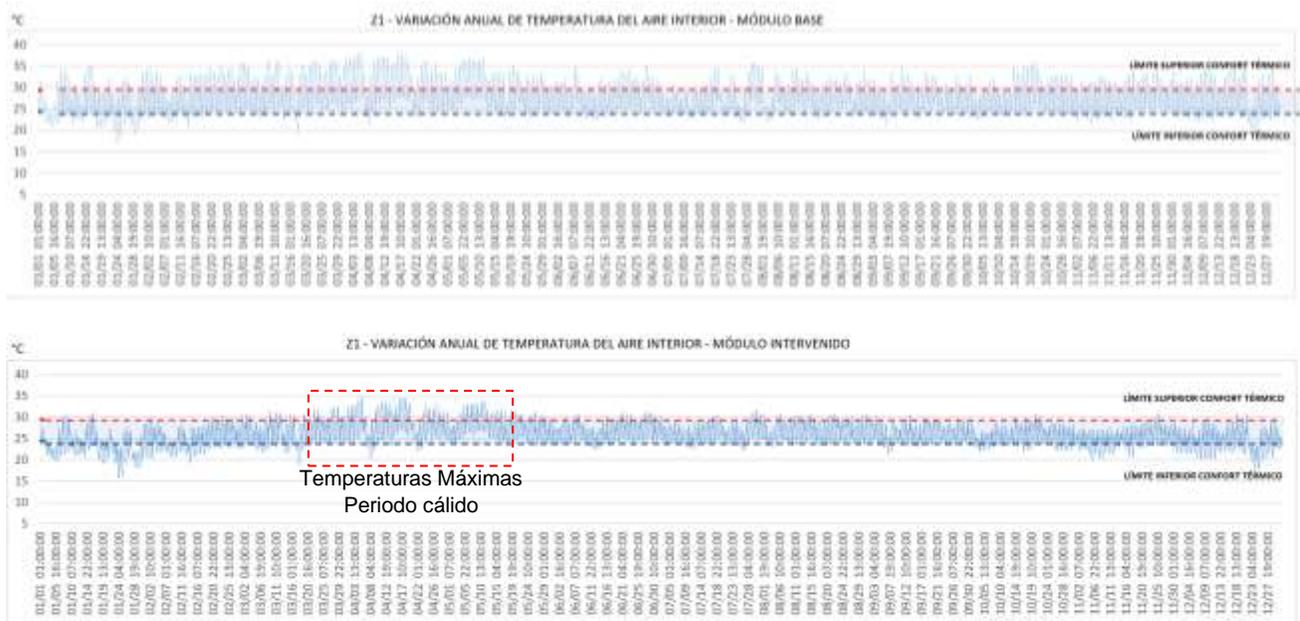
Nota: Gráfica de medición de temperatura interior en módulo intervenido, del día 9 de diciembre, en un periodo de 24 horas, presentando 13 horas dentro del rango de Confort Térmico. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

4.- Cuarto Paso, La comparación de resultados: Después de simular y medir el módulo experimental en su estado actual y con la intervención aplicada, se realizó su representación mediante gráficas numéricas, como se detalla en las siguientes Tablas.

En la Tabla 18 se compara la temperatura del aire interior en un periodo anual en ambos módulos. El módulo sin intervención registró una temperatura promedio 27.84°C. y llegado a temperaturas máximas de 38.10°C. Por otro lado, la temperatura promedio del módulo con intervención bioclimática se registra en 25.86°C. y llegado a temperaturas máximas de 34.84°C. Es decir, se registra una diferencia de 1.98°C en su temperatura promedio, y una diferencia de 3.26°C en su temperatura máxima.

Tabla 18

Comparación de Temperatura del Aire Interior en Periodo Anual en Ambas Variaciones.



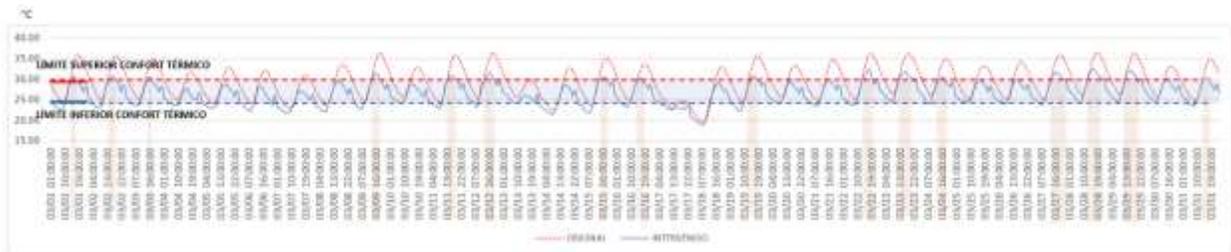
Nota: Gráficas de medición de temperatura anual, con dos variaciones en el módulo experimental. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráficas realizadas por el autor.

Puede analizarse que las temperaturas registradas en el módulo intervenido con estrategias bioclimáticas, se mantienen mayormente estables y contenidas en el rango de horario de confort térmico, llegando a temperaturas superiores solo en el periodo cálido de marzo a mayo. A diferencia de las mediciones registradas en el módulo sin intervención, que presenta mediciones fuera del rango de confort prácticamente en todos los meses del año.

Las tablas de 19 a 21 representan la comparación de medición de los meses determinados como el perdido cálido representativo, del 2 de marzo al 29 de mayo. La temperatura promedio del módulo sin intervención en el mes de marzo se registró en 29.32°C. y llegado a temperaturas máximas de 36.39°C. Mientras que, en el módulo aplicando la variable de intervención, la temperatura promedio se registra en 26.46°C. y llegado a temperaturas máximas de 32.47°C. Mediciones detalladas en la Tabla 19.

Tabla 19

Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Marzo.

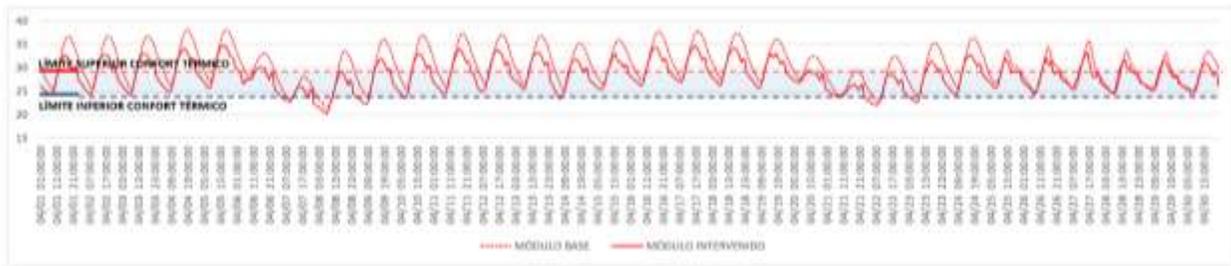


Nota: Gráficas de medición de temperatura del mes de marzo, con dos variaciones en el módulo experimental. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), realizada por el autor.

La temperatura promedio del módulo sin intervención en el mes de abril se registra en 30.37°C. y llegado a temperaturas máximas de 38.10°C. Mientras que, en el módulo aplicando la variable de intervención, la temperatura promedio se registró en 28.23°C. y llegado a temperaturas máximas de 34.84°C. Mediciones detalladas en la Tabla 17. Siendo este el mes con temperaturas más elevadas en todo el año.

Tabla 20

Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Abril.

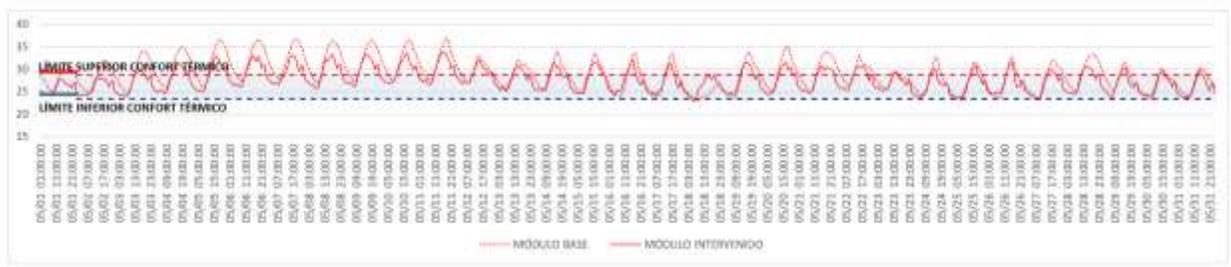


Nota: Gráficas de medición de temperatura del mes de abril, con dos variaciones en el módulo experimental. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), realizada por el autor.

La temperatura promedio del módulo sin intervención en el mes de mayo registra en 28.98°C. y llegado a temperaturas máximas de 37.05°C. Mientras que, en el módulo aplicando la variable de intervención, la temperatura promedio se registró en 27.60°C. y llegado a temperaturas máximas de 33.83°C. Representada en la Tabla 21.

Tabla 21

Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior del Mes de Mayo.



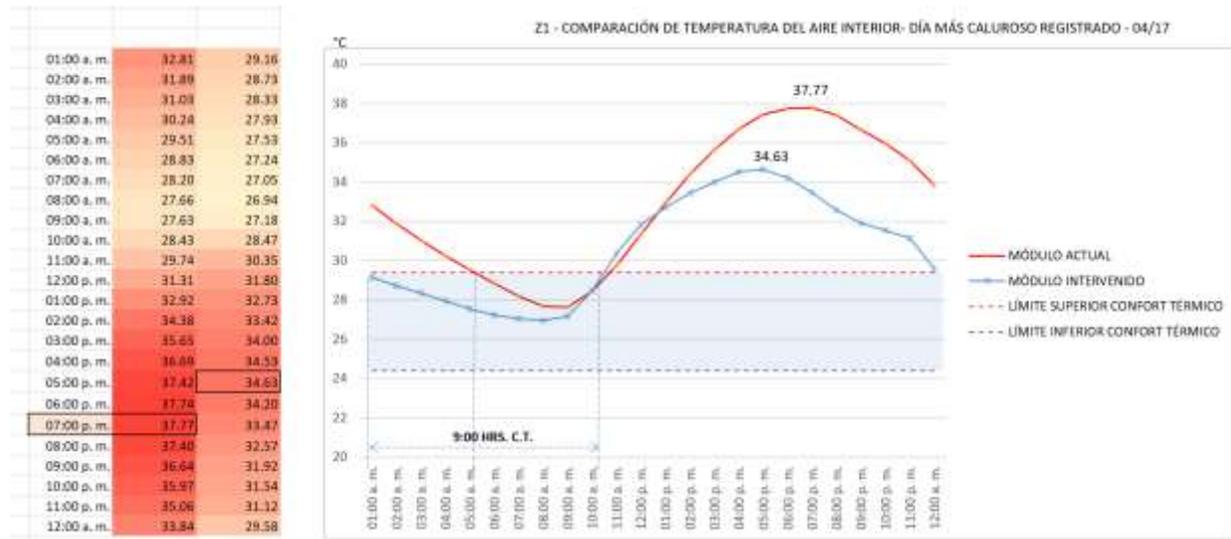
Nota: Gráficas de medición de temperatura del mes de mayo, con dos variaciones en el módulo experimental. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

El análisis demuestra que las temperaturas registradas en el módulo intervenido con estrategias bioclimáticas en el periodo cálido, tiene una diferencia favorable de 2.13°C en sus temperaturas promedio. Y una diferencia favorable de 3.47°C en sus temperaturas máximas.

Otro proceso de comparación fue la medición de la temperatura del aire interior del día típico experimental cálido, siendo este el día 17 de abril, se registró como temperatura máxima en 37.77°C. a las 19:00 horas. Por otro lado, el módulo experimental intervenido llegó a una temperatura máxima de 34.63°C a las 17:00 horas, haciendo una diferencia de temperatura de 3.1°C. Una diferencia de retardo térmico de 2 horas y 9 horas de confort térmico en el transcurso del día. Datos representados en la Tabla 22.

Tabla 22

Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Cálido.

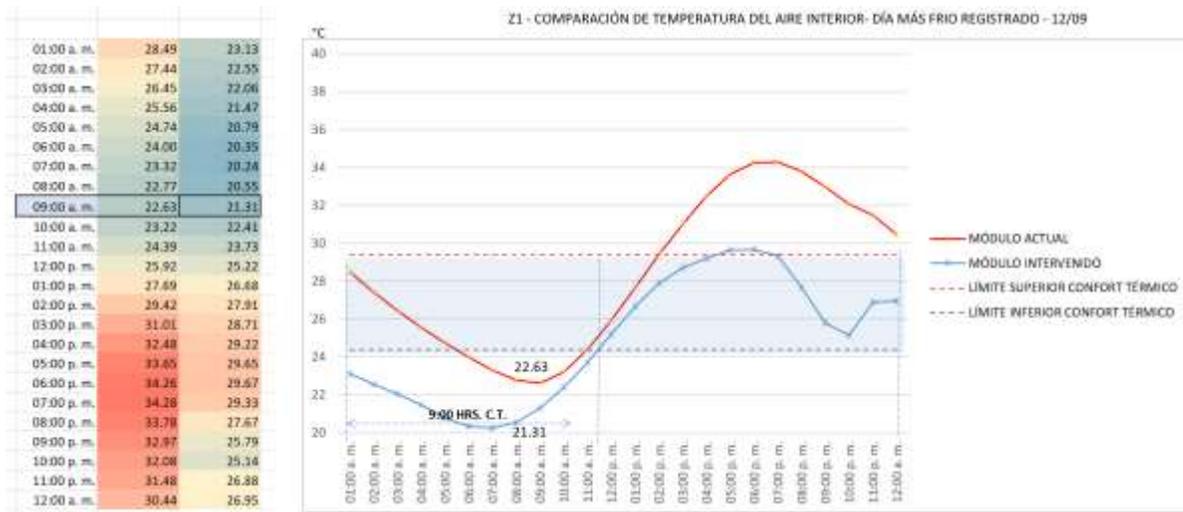


Nota: Gráfica de comparación de temperatura interior en módulo intervenido, del día 17 de abril, en un periodo de 24 horas, presentando una diferencia de 3.1°C. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

De igual manera, el proceso de comparación se realizó la medición de la temperatura del aire interior del día típico experimental frío, siendo este el día 9 de diciembre, se registró como temperatura mínima en 22.63°C. a las 9:00 horas. Por otro lado, el módulo experimental intervenido llegó a una temperatura mínima de 21.31°C a las 9:00 horas, haciendo una diferencia de temperatura de 1.32°C. Manteniéndose en 13.5 horas de confort térmico en el transcurso del día. Datos representados en la Tabla 23.

Tabla 23

Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior del Día Típico Experimental Frío.



Nota: Gráfica de comparación de temperatura interior en módulo intervenido, del día 9 de diciembre, en un periodo de 24 horas, presentando una diferencia de 1.32°C. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

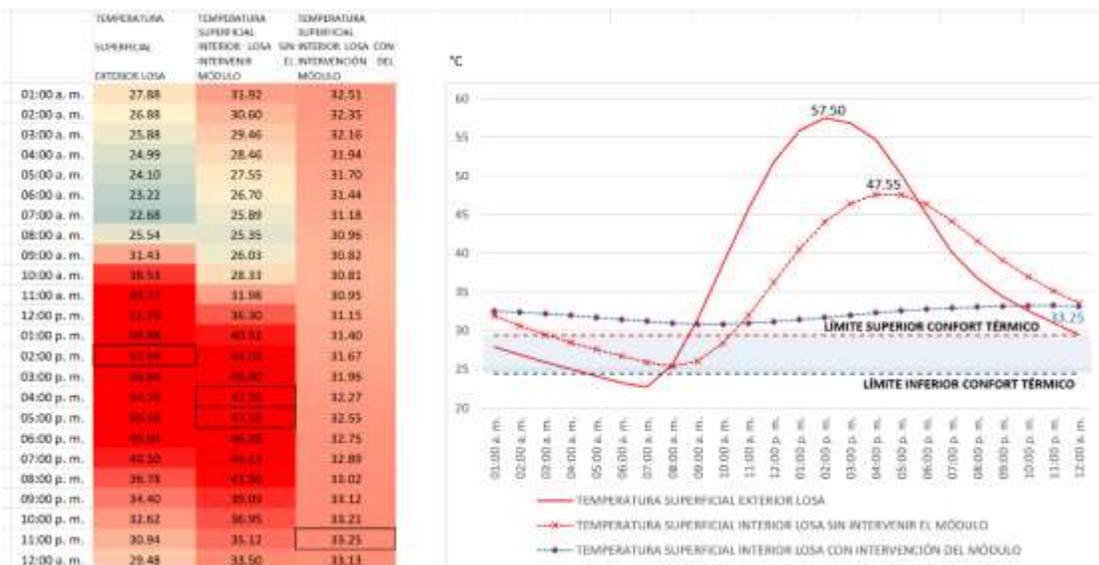
Finalmente, las Tablas 24 a 26 representan la comparación de temperaturas exteriores e interiores en el módulo en estado actual y temperatura interior del módulo intervenido, se tomaron mediciones de los componentes de losa y muro poniente de la envolvente térmica así como la temperatura del aire interior, haciendo la comparativa de los 3 datos.

En la tabla 20 se pueden leer los datos de temperatura superficial de la losa tanto exterior como interior. La temperatura superficial exterior llegó a registrar hasta 57.50°C a las 14:00 horas. La temperatura superficial interior de la losa de concreto macizo en el módulo sin intervención bioclimática, llegó a registrar 47.55°C como temperatura máxima de las 16:00 a las 17:00 horas, llegando a proteger 9.95°C con respecto a la temperatura superficial exterior con un periodo de retardo térmico de 2 horas con respecto al horario de temperatura máxima exterior.

Por otra parte, la temperatura superficial interior de la losa de concreto macizo con la estrategia bioclimática del techo verde llegó a registrar 32.25°C en su temperatura máxima a las 23:00 horas, llegando a proteger 25.25°C con respecto a la temperatura superficial exterior con un periodo de retardo térmico de 11 horas con respecto al horario de temperatura máxima exterior.

Tabla 24

Comparación de Temperaturas Superficiales en Losa del Día Típico Experimental Cálido.



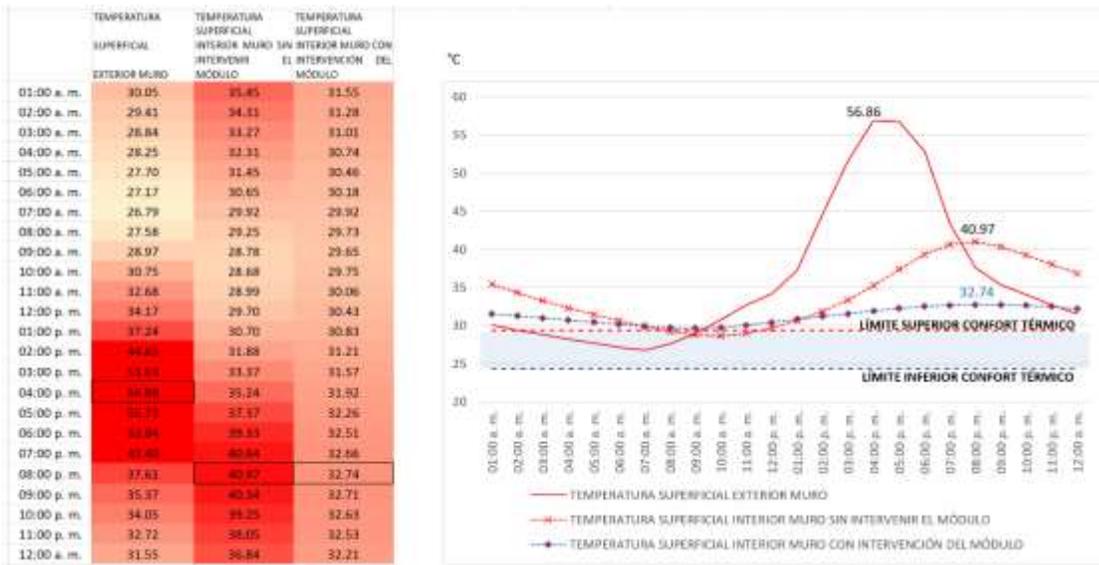
Nota: Gráfica de comparación de temperatura superficial exterior e interior de losa con ambas variables. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

La Tabla 25 muestra los datos de temperatura superficial del muro con orientación poniente, tanto exterior como interior. La temperatura superficial exterior llegó a registrar hasta 56.86°C a las 16:00 horas. La temperatura superficial interior del muro poniente del módulo sin intervención bioclimática llego a registrar 40.97°C en su temperatura máxima a las 20:00 horas, llegando a proteger 15.89°C con respecto a la temperatura superficial exterior con un periodo de retardo térmico de 4 horas con respecto al horario de temperatura máxima exterior.

Por otra parte, la temperatura superficial interior del muro poniente con el aislante de poliestireno llegó a registrar 32.74°C en su temperatura máxima a las 20:00 horas, llegando a proteger 24.12°C con respecto a la temperatura superficial exterior con un periodo de retardo térmico de 4 horas con respecto al horario de temperatura máxima exterior.

Tabla 25

Comparación de Temperaturas Superficiales en Muro Poniente del Día Típico Experimental Cálido.



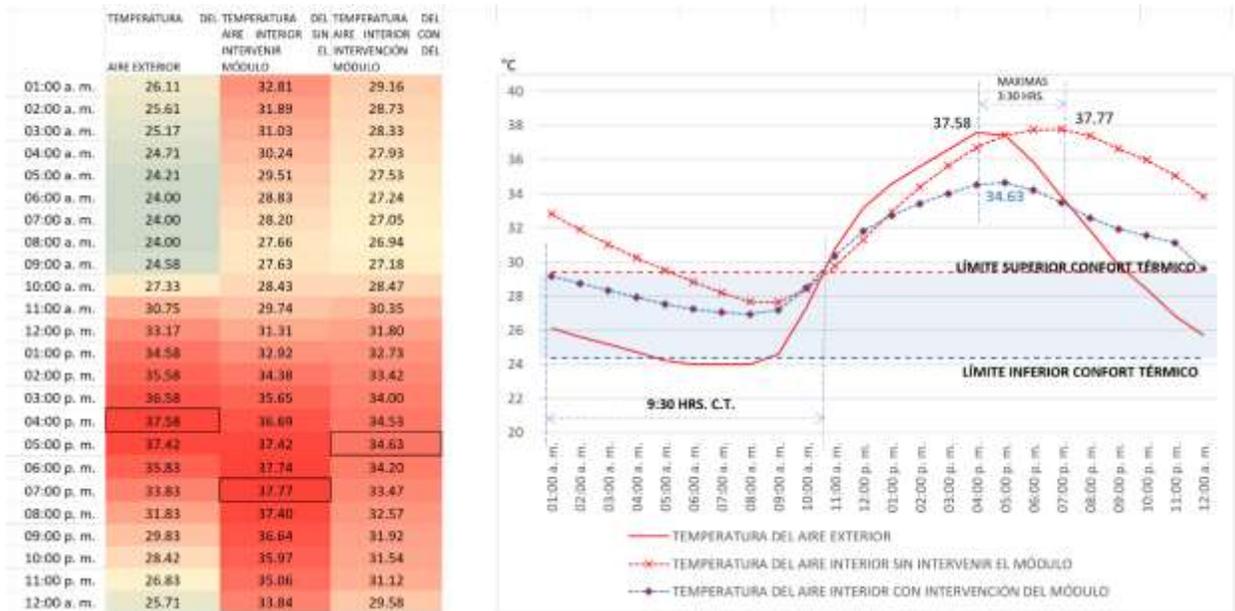
Nota: Gráfica de comparación de temperatura superficial exterior e interior de muro poniente con ambas variables. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

La comparación más relevante de esta simulación se detalla en la Tabla 26, de esta medición depende el cumplimiento del objetivo principal de esta investigación y la confrontación de la hipótesis planteada. Se enfoca en analizar los datos de la temperatura del aire interior del módulo experimental. A las 16:00 hora, la temperatura del aire exterior alcanzó los 37.58°C. Por otro lado, la temperatura máxima del aire interior en el módulo sin intervención bioclimática fue de 37.77°C a las 19:00 horas, con un periodo de retardo térmico de 3.5 horas con respecto al horario de temperatura máxima exterior. Durante este periodo de temperaturas máximas, la temperatura del aire exterior e interior se mantuvieron prácticamente iguales.

En contraste, en el módulo experimental con el sistema bioclimático aplicado, la temperatura máxima del aire interior registró 34.63°C a las 17:00 horas. Esto indica que el sistema ambiental logra mantener una temperatura interna más baja que la del aire exterior, con una diferencia de 2.95°C en la medición máxima de temperatura.

Tabla 26

Comparación de Variación de Temperatura del Aire Interior y Exterior del Día Típico Experimental Cálido.



Nota: Gráfica de comparación de temperatura el aire exterior e interior del módulo experimental con ambas variables. Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

4.2 DISCUSIÓN

Los resultados de la evaluación térmica indicaron que la envolvente del módulo en su estado original no alcanzó el valor de resistencia térmica total (R) de $1 \text{ m}^2\text{/k/w}$ requerido por la NMX-C-460-ONNCCE-2009 establecida para la zona térmica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Sin embargo, mediante la implementación de estrategias bioclimáticas, se logró mejorar significativamente el comportamiento térmico en los componentes de muro poniente y losa.

En el caso del muro poniente, se logró aumentar su resistencia térmica total a $1.845 \text{ m}^2 \text{ /k/w}$, lo cual lo clasifica como un componente de ahorro energético según la normativa. Por otra parte, El techo verde en la losa alcanzó una resistencia térmica total de $1.56 \text{ m}^2 \text{ /k/w}$, clasificándolo como habitable según los estándares establecidos.

Este incremento en la resistencia térmica en los materiales de la envolvente, conlleva a un aumento en el retraso térmico de la temperatura interior con respecto a la exterior por 4 horas, esto se traduce en un incremento en el confort en la temperatura interior, permitiendo ofrecer un mejor refugio en las horas de mayor incidencia solar, cuando las temperaturas exteriores se incrementan. Entonces, cuando las temperaturas exteriores bajan después de las 19:00 horas es posible provocar una ventilación cruzada de manera natural al abrir las ventanas, generando mayores renovaciones de aire para optimizar el enfriamiento en el interior.

Finalmente, las simulaciones también demostraron que el sistema ambiental contribuye a mantener la temperatura del aire interior del módulo dentro de rangos más confortables durante la mayoría del año, reduciendo aproximadamente $3 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura en contraste con la temperatura del aire exterior. sin recurrir a medios de enfriamiento de ventilación mecánicos. Es decir, que, comparados con diversos autores y el confort de temperatura horaria de Tuxtla Gutiérrez, las temperaturas el aire interior se mantienen por debajo de los 34°C . Esto representa un éxito en la eficiencia del sistema ambiental, especialmente considerando que las mediciones de temperaturas máximas se realizaron durante un día típico experimental caluroso.

4.3 CONCLUSIÓN

El análisis reveló que el sistema constructivo tradicional del módulo experimental en su estado actual, al estar construido con componentes convencionales en su envolvente térmica, no proporciona una protección adecuada de confort contra las pruebas efectuadas para el clima cálido subhúmedo de Tuxtla Gutiérrez. Esto resulta insuficiente para garantizar un refugio confortable que permita a los ocupantes llevar a cabo sus actividades diarias de manera óptima. Los resultados evidenciaron que, debido a su baja resistencia de conductividad térmica, el sistema tradicional no alcanza valores óptimos en su evaluación, lo que prolonga los periodos de calor en el interior de los edificios, incluso después de la ausencia de radiación solar.

Por otro lado, Los resultados obtenidos en la simulación del sistema ambiental propuesto, demuestra su viabilidad como alternativa constructiva. Este sistema mostró un mejor desempeño en términos de comportamiento térmico, manteniendo temperaturas dentro el rango de confort durante la mayor parte del año, contrastado con el parámetro de temperatura del confort de temperatura horaria. Además, ofrece una mayor protección contra la radiación solar en comparación con los sistemas constructivos tradicionales. Con estos datos se confirmó la hipótesis inicial, de que desarrollar un sistema ambiental que integre componentes de climatización bioclimáticos pasivos puede optimizar la condición del comportamiento térmico al interior de los edificios.

La implementación de este sistema ha demostrado ser efectiva, al incluir estrategias bioclimáticas, puesto que lleva a cabo la protección contra la radiación solar y se produce un aislamiento térmico en los componentes de la envolvente y se mejora significativamente la transferencia térmica en los materiales empleados. Esto resulta en una notable reducción de la temperatura superficial interior, llegando incluso a un 50% menos en comparación con la temperatura del aire exterior.

Conjuntamente, se logra una eficiencia de enfriamiento al incluir ventilación mediante vientos selectivos. Esta medida no solo aumenta la eficiencia del sistema, sino que también complementa el trabajo integral de reducción de la temperatura del aire interior y prolonga las horas de confort al interior.

En relación de los objetivos de la investigación, se puede concluir en que los resultados de la simulación confirman que se ha cumplido con el objetivo principal del estudio y, asimismo, se ha logrado comprobar también la hipótesis planteada, evidenciando que la implementación de un sistema ambiental que incorpore estrategias bioclimáticas que brinden protección a las variables de radiación solar y ventilación del aire de manera pasiva puede mejorar significativamente el comportamiento térmico de los edificios, contribuyendo así a mejorar las condiciones habitables para sus ocupantes.

Finalmente, se identificaron varias tendencias emergentes, áreas de interés y revelaron una serie de desafíos significativos para futuras investigaciones sobre el comportamiento térmico de los edificios con un enfoque particular en el municipio de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Los resultados analizados sugieren se pueden extraer varias conclusiones significativas que podrían abrir campos de investigación, no solo para mejorar las condiciones de vida en el interior de los edificios, sino también contribuir con a la reducción del impacto ambiental asociado al consumo de la energía en el sector de la construcción, que no serán atendidos en esta tesis:

1. Problemas en condiciones térmicas en diversas regiones: Los estudios abarcan diversas regiones de México, mostrando que en las zonas analizadas se presentan problemas significativos en el confort térmico de las viviendas. Esto destaca análisis y soluciones específicas para cada región.
2. Impacto del consumo energético en edificios. Las investigaciones demuestran que el consumo energético de los edificios, específicamente a través del uso extensivo de sistemas mecánicos de enfriamiento, presenta un problema significativo. Este consumo excesivo no solo consecuencias económicas para los usuarios, sino también implica impactos ambientales considerables.
3. Costo beneficio económico de implementación bioclimática a corto y largo plazo.
4. Determinar el confort adaptativo en habitantes de Tuxtla Gutiérrez.

REFERENCIAS

Almanza, R. (2009). VI. *DICCIONARIO TÉCNICO CORREGIDO Y AUMENTADO DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN ENERGÍA SOLAR. INGENIERIA DE LA ENERGIA SOLAR.* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Auliciems, A., & Szokolay, S. (1997). Thermal Comfort. *PLEA NOTES (Passive and Low Energy Architecture International. Design tools and Techniques).*

Azpeitia, G., Bojórquez Morales, G., y Ruiz Torres, R. (2007). EL CONFORT TÉRMICO: DOS ENFOQUES TEÓRICOS ENFRENTADOS. *REDALIC. PALAPA Revista de investigación científica en arquitectura*, p. 45-57.

Brunet Estarellas, P. J., Almeida García, F., y Coll López, M. (2005). AGENDA 21: SUBSIDIARIEDAD Y COOPERACIÓN A FAVOR DEL DESARROLLO TERRITORIAL SOSTENIBLE. *Boletín de la A. G. E.* (39), p. 423-436.

Bustos Flores, C., y Chacón Parra, G. B. (2009). El desarrollo sostenible y la agenda 21. *Telos*, 11(2), p.164-181.

Castañeda Nolasco, G. (2015). *Método general de realización de proyectos.* UNACH presentaciones en clase.

Castañeda Nolasco, G., Ovando López, K. I., y Jiménez Albores, J. L. (2014). COMPARACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDA SOCIAL EN CLIMA CÁLIDO SUB-HÚMEDO: EL ANTES Y DESPUÉS DE SU TRANSFORMACIÓN EN EL TIEMPO. *Tecnología y construcción*, p. 54-62.

Castañeda, G., Argüello, T., y Vecchia, F. (2010). Desempeño térmico de techo alternativo para vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Revista de la Construcción*, p. 81-88.

Castañeda-Nolasco, G., y Vecchia, F. (2007). Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Ingeniería*, 11(2), p. 21-30.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46711203>

Cely Oscar Alonso. (2014). Métodos de diseño ambiental en arquitectura. *ReserchGreate*, p.1-24.

https://www.researchgate.net/publication/236870133_Metodos_de_diseno_ambiental_en_arquitectura/link/00b49519bcf5af358e000000/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxeY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxeY2F0aW9uIn19

Cleta Pereira, Aaditya Sawant, Raj Vaswani, Rutvik Sanap and Saurabh Yadav, Passive Cooling System to Provide Thermal Comfort. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*

ÇENGEL, Yunus A. (2007). *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, un enfoque práctico*, (3.a ed., J. H. Pérez Castellanos, y J. E. Brito, Trads.). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

David Morillón Gálvez, Azucena Escobedo e Iván García Kerdrán. (2015). *Retos y oportunidades para la sustentabilidad energética en edificios de México: Consumo y uso final de energía en edificios residenciales, comerciales y de servicio fue editada por el Instituto de Ingeniería*. Instituto de Ingeniería, de la Universidad Autónoma de México.

Daros, W. r., (2002). *¿Qué es un marco teórico?* Enfoques, XIV (1), p. 73-112

Eschenhagen, M. L. (2007). Las cumbres ambientales internacionales y la educación ambiental. *OASIS*, (12), p. 39-76.

Estenssoro, F. (2015). *EL ECOCODesarrollo como concepto precursor del desarrollo sustentable y su influencia en América Latina*, UNIVERSIUM, (30), p. 81-99.

Esther Maya. (2014). *Métodos y técnicas de investigación, una propuesta ágil para la presentación de trabajos científicos en las áreas de arquitectura, urbanismo y disciplinas afines*. Universidad Autónoma de México, facultad de arquitectura.

Foladori, G., y Pierri, N. (2005). *¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable* (Primera ed.). Miguel Ángel Porrúa.

García Chávez, J. A., y Fuentes Freixanet, V. (1985). *Arquitectura Bioclimática y energía solar. Viento y arquitectura*. Universidad Autónoma Metropolitana. Departamento de medio ambiente para el diseño.

Perfiles Municipales. (2015). Gobierno del Estado, d. C. Obtenido de http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wp-content/uploads/Secciones/InfoPorNivel/InfoRegional/Contexto/REGION_I_METROPOLITANA_post.pdf

Gómez Vargas, M., Galeano Higueta, C., y Jaramillo Muñoz, D. A. (2015). EL ESTADO DEL ARTE: UNA METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 6(2), 423-442.

HildebrandtGruppe. (2016). *hildebrandt*. Recuperado el 19 de Junio de 2019, de <http://www.hildebrandt.cl/influencia-de-las-condiciones-climaticas-en-los-edificios-pasivos/>

INEGI, I. N. (2016). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
<http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeos/?ag=07#>

Jaramillo, O. (2007). *Centro de Investigación en Energía*. Universidad Nacional Autónoma de México: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Termodinamica/node9.html>

Lago, M. P. (2015). *ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA, CONSECUENCIAS EN EL LENGUAJE ARQUITECTÓNICO. DEPARTAMENTO DE PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS Y URBANISMO ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA*. UNIVERSIDADE DA CORUÑA .

La Roche, Pablo, (2022) passive cooling strategies for low carbon architecture, *Routledge*, p. 223-240

Levine, I. N. (2004). *FISICOQUÍMICA* (Quinta ed., Á. González Ureña, Trad.) McGraw-Hill Interamericana.

Luis, Parrilla., José Luis Rodríguez García, Jorge Albareda. y Cristian Mahulea. (2017) A tool to develop, analyze and monitor clinical pathway, p. 186-191. Doi:10.1109/CNSC.2017.8000089

Monroy Martí, E., y Luna Mendaza, P. (2011). *Estrés térmico y sobrecarga térmica: evaluación de los riesgos*. Normas técnicas de prevención.

Morillón Gálvez, D., Escobedo, A., y García Kerdán, I. (2015). *Retos y oportunidades para la sustentabilidad energética en edificios de México: Consumo y uso final de energía en edificios residenciales, comerciales y de servicio*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, INSTITUTO DE INGENIERÍA.

MORILLÓN GÁLVEZ, D., ESCOBEDO, A., E IVÁN GARCÍA, K. (2015). *Retos y oportunidades para la sustentabilidad energética en edificios de México: Consumo y uso final de energía en edificios residenciales, comerciales y de servicio*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, Instituto de Ingeniería, Ciudad Universitaria.

Morillón Gálvez, D. (1993). *Bioclimática: Sistemas Pasivos de Climatización*. Universidad de Guadalajara UDG.

Morillón, D. G. (2004). *Atlas del Bioclima de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de ingeniería.

Morillón, D. G., y Oropeza, P. I. (2009). *Atlas de la ventilación natural para la República Mexicana. Potencial para ahorrar energía en la climatización de edificios*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Morillón, D., y Ceballos, F. J. (2015). *Metodología para la sustentabilidad energética de los edificios, Vivienda net zero energy*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

NAREDO, José Manuel. (1996). Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. *Dialnet Cuadernos de investigación urbanística*, p. 7-18.

Otero Iglesias, Jacinta, Barrios Osuna, Irene, y Artiles Visbal, Leticia. (2004). Reflexiones en torno a la definición de Proyecto. *Educación Médica Superior*, 18(2), 1. Recuperado en 10 de diciembre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412004000200005&lng=es&tlng=es.

Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (1a edición, 1963) ed.). (a. Josefina Frontado y Luis Clavet, Trad.), Gustavo Gilli SL.

RAE, R. A. (2018). Real Academia Española. Recuperado el 2018 de 04 de 27

Ramírez Treviño, A., Sánchez Núñez, J. M., y García Camacho, A. (2004). El Desarrollo Sustentable: Interpretación y Análisis. *Centro de Investigación. Universidad La Salle*, 6(21), p. 55-59.

Riechmann, J. (s.f.). DESARROLLO SOSTENIBLE: LA LUCHA POR LA INTERPRETACION. desost.doc.

Romero, R. A. (2004). Confort térmico y ahorro de energía en la vivienda económica en México: regiones de clima cálido seco y húmedo. Mexicali, Baja California Norte: CONAFOVI.

Ruiz Torres, R. P. (2008). Tablas de Mahoney, análisis del clima de Tuxtla Gutiérrez. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. *Condicionantes y componentes de la vivienda COCOVI*.

Ruiz Torres, R. P., Castañeda Nolasco, G., y Arguello Méndez, T. d. (2011). COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO. *researchgate*.

Ruth Sautu (2005) *Todo es teoría: objetivos y métodos de investigación*. LUMIERE.

Sánchez Castillo Luis Eduardo, (2024). *simulación termodinámica de la envolvente con el software EnergyPlus™ NMX-C-460-ONNCCE-2009*

Stenson, Chad., Gysy, William., Clouse, Adam. (2021) Passive air cooling.

Tejeda, A. M., y Rivas, D. A. (2002). El bioclima humano en urbes del sur de México para condiciones de duplicación de CO2 atmosférico. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, p. 37-52.

Trujillo Samayoa, R., Rangel Martínez, Y., y Castañeda Nolasco, G. (2015). Potencial del techo verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la edificación. *Nova Scientia*, p. 577-596.

Trujillo Samayoa, R., Rangel, Y., y Castañeda Nolasco, G. (2015). Desempeño térmico del techo verde, una alternativa viable para la edificación, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, p. 103-113.

Vecchia, F. (1997). *Clima e Ambiente Construido Tese (Doutorado)*. Sao Paulo, *Universidade de Sao Paulo*.

Verónica Sánchez Ovalle, Luis Gerardo Hernández López, Omar Francisco Castellanos Ramos y Omar Guillermo Rodríguez Bárcenas. (2015). *ANÁLISIS DEL CONCEPTO DE TERMODINÁMICA Y SU APLICACIÓN EN EL EFECTO MPEMBA*. Universidad autónoma de nuevo león, Facultad de ingeniería mecánica y eléctrica.

Welty, J. R., Wicks, C. E., y Wilson, R. E. (1984). *Fundamentos de transferencia de momento, calor y masa*. (C. Calderón Acosta, Trad.) LIMUSA, S.A. DE C.V. GRUPO NORIEGA EDITORES.

Zaragoza, F. M. (s.f.). *Los límites del crecimiento*. (U. d. Azuay, Ed.) Temas para el debate.

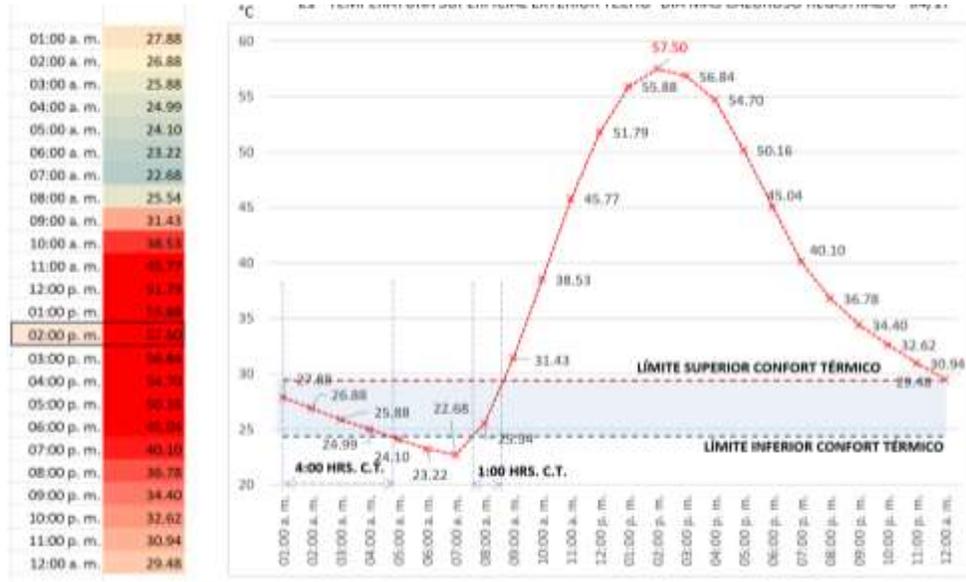
Zoleikha Moghtader Gilvaei, Amin Haghighi Poshtiri and Ali Mirzazade Akbarpoor, A novel passive system for providing natural ventilation and passive cooling: Evaluating thermal comfort and building energy, *Renewable Energy*, Volume198, 2022, p. 463-483.

ANEXOS

Mediciones de Módulo en Estado Actual: Medición de Temperatura de Losa

Tabla 1.1

Temperatura Superficial Exterior de Losa en Día Típico Experimental Cálido.



Nota: Fuente: Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

Tabla 2.1

Temperatura Superficial Interior de Losa en Día Típico Experimental Cálido.

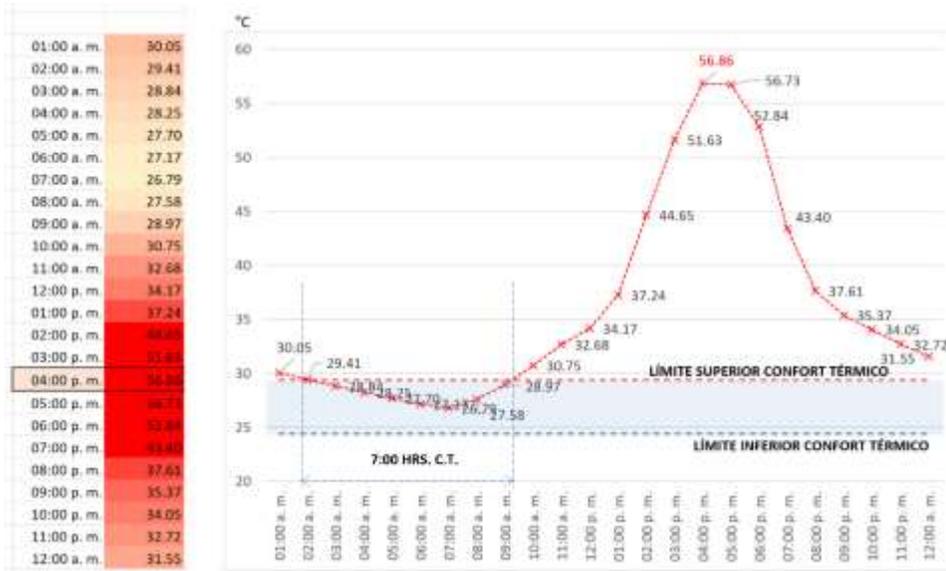


Nota: Fuente: Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

Mediciones de Módulo en Estado Actual: Medición de Temperatura de Muros

Tabla 3.1

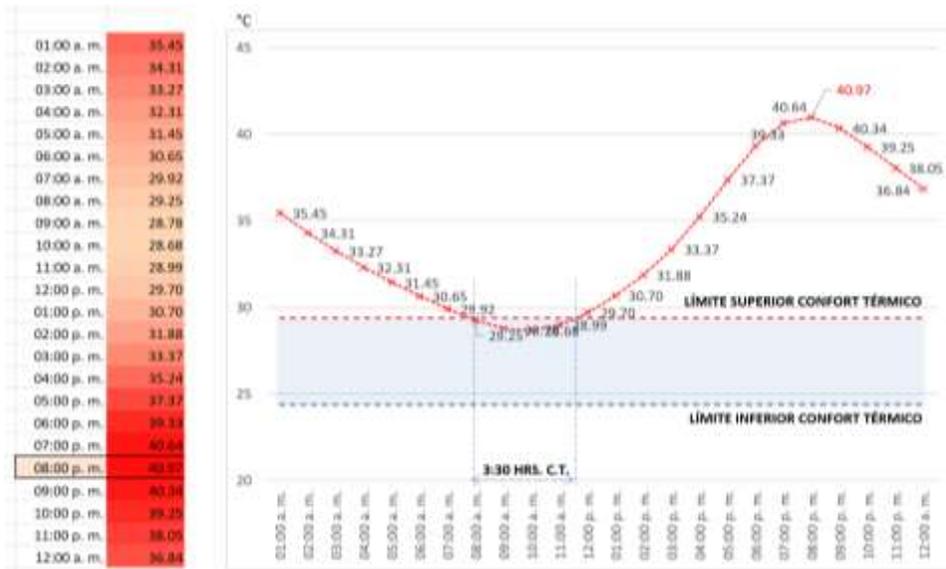
Temperatura Superficial Exterior de Muro en Día Típico Experimental Cálido.



Nota: Fuente: Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

Tabla 4.1

Temperatura Superficial Interior de Muro en Día Típico Experimental Cálido.



Nota: Fuente: Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

Mediciones de Módulo en Estado Actual: Medición de Temperatura de Losa

Tabla 5.1

Temperatura Superficial Interior de Losa en Día Típico Experimental Cálido.



Nota: Fuente: Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

Mediciones de Módulo en Estado Actual: Medición de Temperatura de Muros

Tabla 6.1

Temperatura Superficial Interior de Muro en Día Típico Experimental Cálido.



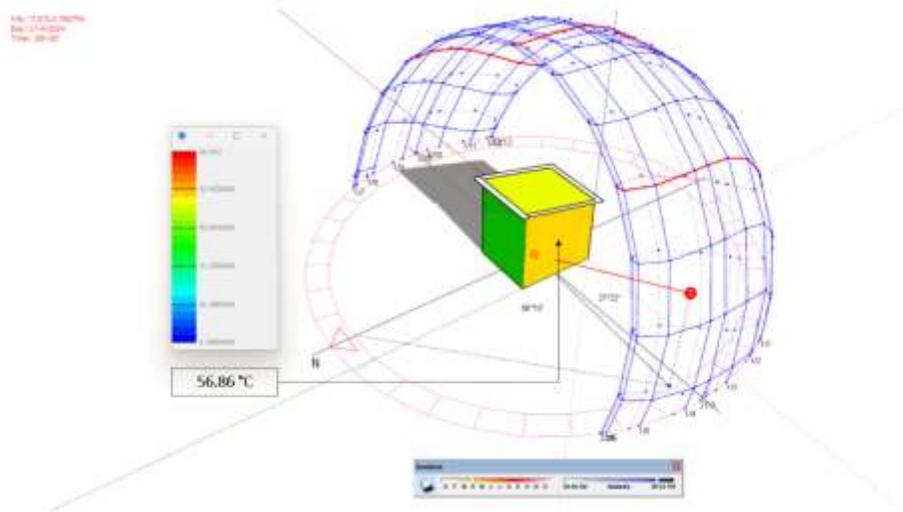
Nota: Fuente: Basado en la simulación del autor (Sánchez, 2024), gráfica realizada por el autor.

Gráficas de soleamiento, proyección y análisis de mediciones de temperatura, expresada en simulación visual del módulo experimental.

Mediciones de Módulo en Estado Actual:

Figura 1.1

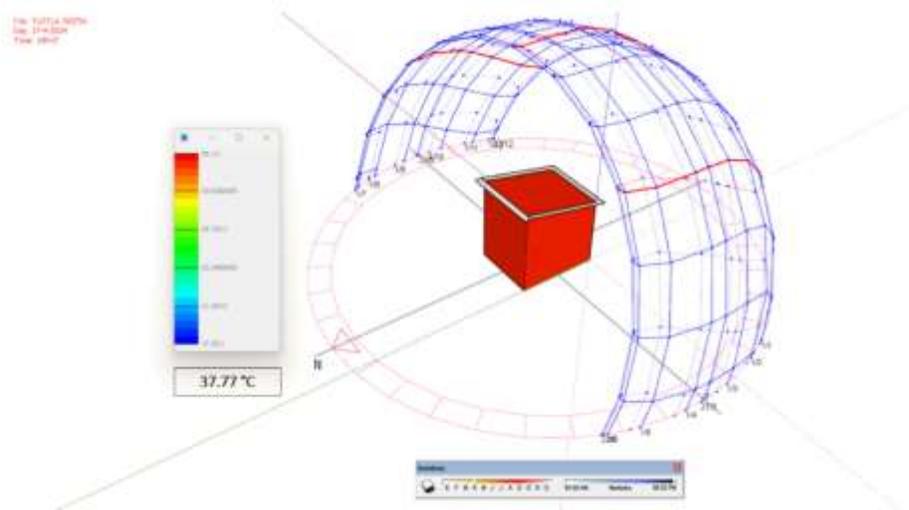
Temperatura Superficial Exterior Muro Poniente 56.86 °C Día 4-17 16:00 Hrs.



Nota: Fuente: Extraído de simulación del autor (Sánchez, 2024)

Figura 2.1

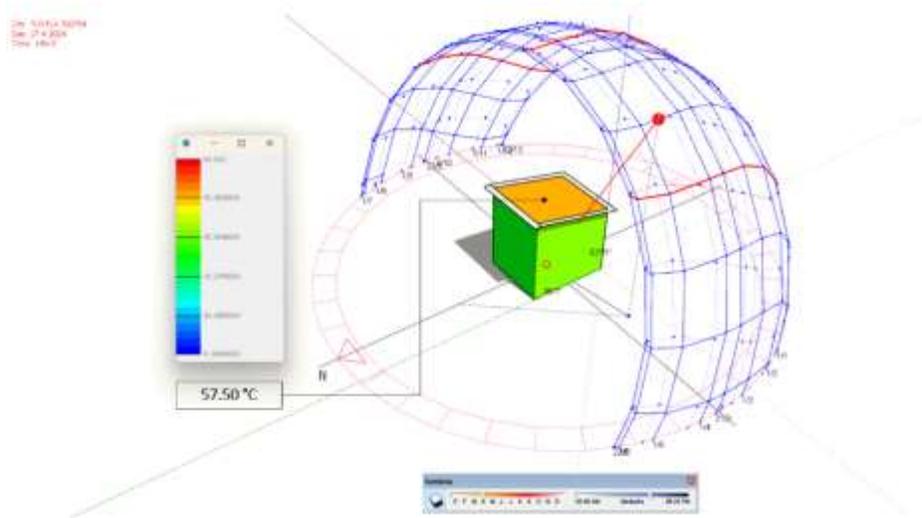
Temperatura Aire Interior 37.77 °C Día 4-17 19:00 hrs.



Nota: Fuente: Extraído de simulación del autor (Sánchez, 2024)

Figura 3.1

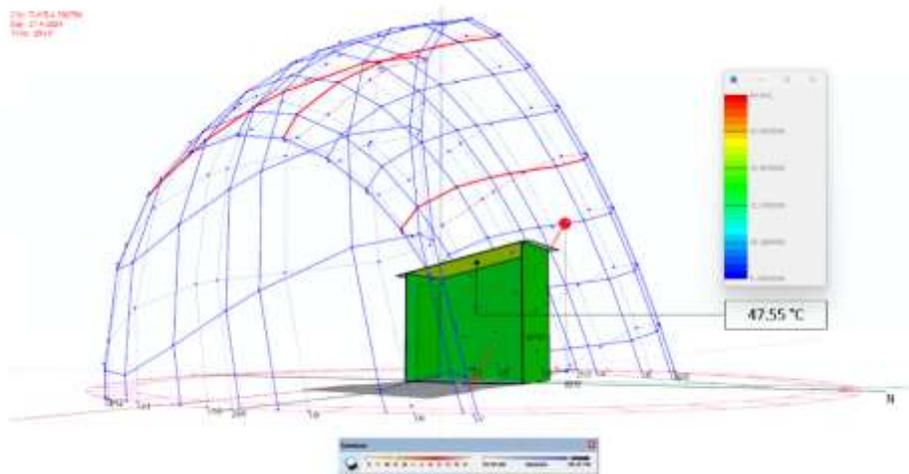
Temperatura Superficial Exterior Losa 57.50 °C Día 4-17 14:00 Hrs.



Nota: Fuente: Extraído de simulación del autor (Sánchez, 2024)

Figura 4.1

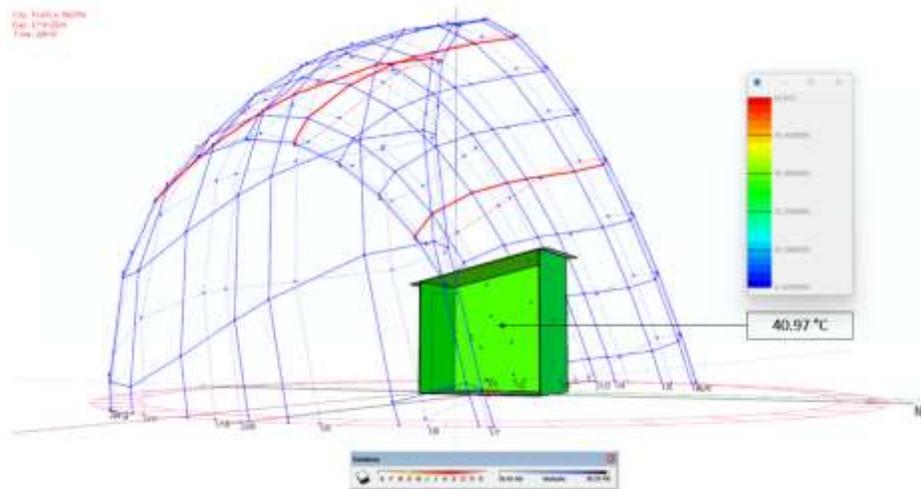
Temperatura Superficial Interior Losa 47.55 °C Día 4-17 16:00 Hrs.



Nota: Fuente: Extraído de simulación del autor (Sánchez, 2024)

Figura 5.1

Temperatura Superficial Interior Muro Poniente 40.97 °C Día 4-17 20:00 Hrs.

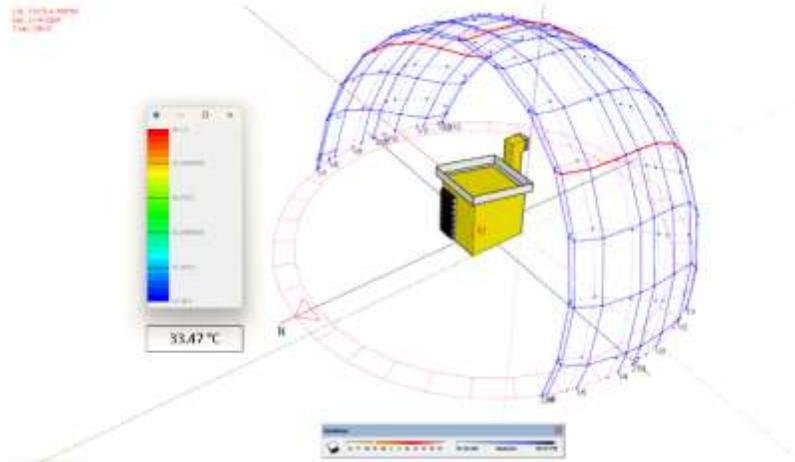


Nota: Fuente: Extraído de simulación del autor (Sánchez, 2024)

Mediciones de Módulo Intervenido

Figura 6.1

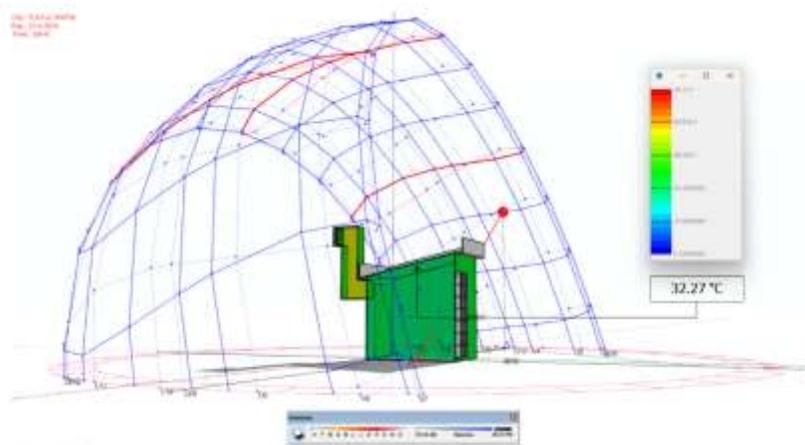
Temperatura Aire Interior 33.47 °C Día 4-17 19:00 Hrs.



Nota: Fuente: Extraído de simulación del autor (Sánchez, 2024)

Figura 7.1

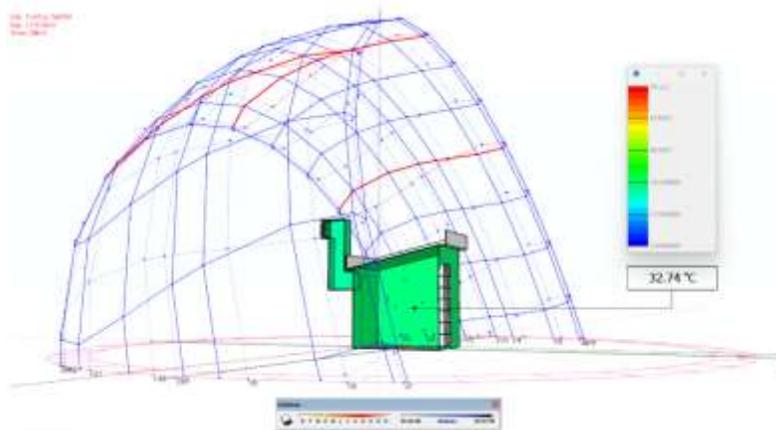
Temperatura Superficial Interior Losa 32.27 °C Día 4-17 16:00 Hrs.



Nota: Fuente: Extraído de simulación del autor (Sánchez, 2024)

Figura 8.1

Temperatura Superficial Interior Muro Poniente 32.74 °C Día 4-17 20:00 Hrs.



Nota: Fuente: Extraído de simulación del autor (Sánchez, 2024)