



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



TESIS DE MAESTRIA

**SISTEMA DE CUBIERTA MULTICAPA PARA MITIGAR EL
SOBRECALENTAMIENTO EN LOSAS INSTALADAS EN CLIMA
CÁLIDO-HÚMEDO.**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA Y PROTECCIÓN AMBIENTAL.**

PRESENTA:

ARQ. XOCHILT CORNELIO RODRIGUEZ

DIRECTOR:

DR. GASPAR LOPEZ OCAÑA

VILLAHERMOSA, TABASCO, AGOSTO DEL 2017.



**UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO**

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DIRECCIÓN**



AGOSTO 07 DE 2017

**C. XOCHILT CORNELIO RODRIGUEZ
PAS. DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA Y PROTECCIÓN
AMBIENTAL
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental titulado: **“SISTEMA DE CUBIERTA MULTICAPA PARA MITIGAR EL SOBRECALENTAMIENTO EN LOSAS INSTALADAS EN CLIMA CALIDO-HÚMEDO”**, asesorado por el Dr. Gaspar López Ocaña sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado está integrado por el Dr. Raúl German Bautista Margulis, Dra. Ena Edith Mata Zayas, Dr. Gaspar López Ocaña, MIPA. Rocío López Vidal y M. en C. Reyna Lourdes Fócil Monterrubio.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE

**M. EN C. ROSA MARTHA PADRON LOPEZ
DIRECTORA**

**UJAT
DIVISIÓN ACADÉMICA
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



C.c.p.- Expediente del Alumno.

C.c.p.- Archivo

Miembro CUMEX desde 2008

**Consortio de
Universidades
Mexicanas**
UNA ALIANZA DE CALIDAD POR LA EDUCACIÓN SUPERIOR

KM. 0.5 CARR. VILLAHERMOSA-CÁRDENAS ENTRONQUE A BOSQUES DE SALOYA
Tel. (993) 358-1500 Ext. 6400, Fax (993) 354-4308 y 358-1579 E-mail: dirección.dacbiol@ujat.mx



Usar papel reciclado economiza energía, evita contaminación y despilfarro de agua y ayuda a conservar los bosques

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

CARTA AUTORIZACIÓN

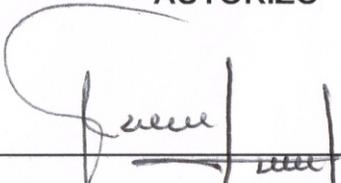
El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“SISTEMA DE CUBIERTA MULTICAPA PARA MITIGAR EL SOBRECALENTAMIENTO EN LOSAS INSTALADAS EN CLIMA CÁLIDO-HÚMEDO”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el Día 07 de Agosto de 2017.

AUTORIZO



XOCHILT CORNELIO RODRÍGUEZ



DEDICATORIAS

A DIOS:

Por haberme regalado sabiduría, fortaleza, salud, empeño, humildad y paciencia, por no dejarme sola en los momentos más difíciles y por darme hermosos instantes en mi travesía por la universidad. Permitiéndome alcanzar la meta en éste proyecto.

A mis padres Sr. NETZAHUALT y Sra. GLADYS (Q.E.P.D.):

Hoy cumplimos una meta más en mis estudios, y lo digo en plural porque aunque lejos de mí sin ustedes no lo hubiera logrado, quiero compartirles éste trabajo, hecho con mucho cariño y dedicación para obtener mi grado de maestría, sé que desde el cielo se sentirán orgullosos de mí. Sin importar donde estén quiero darles las gracias por darme la vida, por todos los consejos y el amor que me otorgaron. Nunca los olvidaré.

A mi querido y amado hijo:

Max, te dedico ésta tesis participándote de ella, gracias por las horas que compartí contigo al llevar a cabo éste compromiso, por la tolerancia demostrada a mis horas de desvelo, donde el orgullo de ser tu madre me exigió a realizarla de la mejor manera, y dónde tu apoyo fue una pieza valiosa para terminarla. Gracias por tu amor hijo, te amo.

A mis hermanos: Abelardo, Gladys, Magdalena, Martín, Marina y Netzahualcóyotl (Q.E.P.D.): por todo el apoyo que me brindaron y por darme ánimos cuando desfallecía.

A mis sobrinos: José maría, Edmundo, José Martín, Claudita, Nefi, Nahín, Gabriela y Yidiani. Por sus ímpetus, espontaneidad y riqueza interior.

Agradezco a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, por abrirme las puertas de su recinto y cobijarme con la sabiduría de mis maestros que siempre recordaré como excelentes profesionistas.

Al nuestro querido Rector Dr. José Manuel Piña Gutiérrez por impulsar a nuestra máxima casa de estudios brindándonos educación de calidad, para brindarle a la sociedad profesionistas capaces de responder los retos que ésta les da.

A la Dra. Ena Edith Mata Zayas, por todo el esmero y facilidades concedidas para poder cumplir con este trabajo.

Al Dr. Gaspar López Ocaña, por sus sabias sugerencias, por el asesoramiento que recibí durante el tiempo de mis estudios, acrecentando mis conocimientos, admitir ser parte de éste Honorable Comité y todo el tiempo dedicado hasta la culminación de ésta Tesis.



INDICE

1.- RESUMEN.	6
2.- INTRODUCCION.	7
3.- JUSTIFICACION	9
4.- ANTECEDENTES	10
4.1.- Influencia del clima y su relación con el hombre.	11
4.2.- Antecedente Internacional.	13
4.3.- Antecedente Nacional.	17
4.4.- Antecedente Regional.	19
4.5.- Referentes generales.	19
5.- MARCO TEÓRICO.	21
5.1.- Enfoque de sistemas y dinámica de una edificación.	21
5.1.1.- Termodinámica del edificio.	22
5.1.2.- Sistemas Pasivos de climatización.	25
5.1.3.- Clasificación de los procesos de enfriamiento.	27
5.2.- El confort térmico en la edificación.	28
Confort Térmico	31
5.3.- Transferencia de calor como mecanismo de enfriamiento relacionados con el sistema multicapa propuesto.	33
5.3.1.- Convección.	34
5.3.1.1.- Transferencia de calor por convección.	34
5.3.2.1.- Transferencia de calor por radiación.	35
5.3.3.1.-Transferencia de calor por conducción.	37
5.4.- Efectos térmicos de los materiales.	37
5.4.1.- Transmisión calorífica de los materiales.	38
6.- OBJETIVOS	39
6.1.- Objetivo General.	39
6.2.- Objetivos Específicos.	39
7.- ÁREA DE ESTUDIO.	40
7.1.- Clima.	41
7.2.- Precipitación Pluvial.	42
7.3.- Velocidad Del Viento.	42
8.- MATERIALES, HERRAMIENTAS, EQUIPOS Y MÉTODOS.	43
8.1.- Materiales y herramientas.	43
8.2.- Revisión Bibliográfica.	44
8.3.- Criterio de diseño y construcción de módulos y prototipo.	45



8.5.- Monitores de datos.	50
8.6.- Determinación de carga y peso estructural del sistema multicapa.	50
8.7.- Análisis de costo del prototipo en relación a otros.	52
8.8.- Análisis estadístico de los datos.	53
9.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	54
9.1.- Planos de construcción del prototipo del sistema de cubierta multicapa utilizado.	54
9.2.- Evaluación de variables ambientales en el prototipo experimental	54
9.2.1.- Comportamiento de las variables en el módulo 1.	54
9.2.2.- Comportamiento de las variables en el módulo 2.	67
9.2.3.- Comportamiento de las variables ambientales externas.	79
9.2.3.- Análisis estadístico de las variables de Confort en los módulos.	83
9.3.- Condiciones térmicas de confort establecido en la norma NMX-020-ENER-2011.	88
9.4.- Análisis estructural de las unidades experimentales.	90
9.5.- Análisis financiero de la unidad experimental.	90
9.5.1.- Análisis de precios unitarios del prototipo y similares	90
9.5.2.- Corrida financiera.	92
9.6.- Discusiones.	94
10.- CONCLUSIONES.	95
11.- BIBLIOGRAFIA	96
12.- ANEXOS.	99
Anexo 1. Memoria Fotográfica	99
Anexo 2. Planos de las unidades experimentales	104



1.- RESUMEN.

Se desarrolló un prototipo de sistema de cubierta multicapa (mortero, fibra vegetal y poliestireno), el cual cumple con criterios de diseño y construcción de la norma NMX-020-ENER-2011, y fue comparado con el sistema COVINTEC, la conductividad térmica en el caso de nuestro sistema multicapa fue de 0.1666 y mayor a 0.2881 en el sistema COVINTEC. Al evaluar el prototipo experimental multicapa, se monitorearon parámetros de confort como temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. La temperatura es el principal parámetro de confort, para el caso de Tabasco el rango debe estar entre el 23.6 y 28.6 °C, estos valores de temperatura son importantes para el cuerpo humano, pues este debe mantener un rango de 36.5 a 37.5 °C. La temperatura interna (dentro del prototipo) presentó 24.64 ± 2.82 °C, en cuanto al sistema COVINTEC se presentó 29.74 ± 4.23 °C, y la temperatura sobre la losa fue de 27.04 ± 3.00 °C, en cuanto al sistema COVINTEC se presentó 28.63 ± 3.75 °C, las temperaturas máximas se reportan en 30.5 °C en rango de tres horas (15:00 a 18:00 horas). Para el caso del sistema multicapa por ser un prototipo cerrado no presentó mejoría en la humedad relativa pues se presenta en 73.59 ± 13.50 %, mientras en el sistema COVINTEC 72.09 ± 13.66 %. Muchas veces la temperatura en el ambiente puede permanecer constante, pero cuando la humedad relativa fluctúa entre el 30% y el 70%, el ser humano es sensible a estos cambios. Al analizar el costo de implementación del sistema de cubierta multicapa en relación a otros sistemas comerciales, se obtuvo que el costo por m² es de \$198.47, mientras que para el sistema Foamular a base de aislante de poliestireno extruido fue de \$372.33 y finalmente el sistema multitecho Ternium fue de \$803.69. Por lo que se concluye que es muy viable el sistema multicapa propuesto para su implementación en las construcciones de ciudades con climas tan calurosos como el nuestro.



2.- INTRODUCCION.

La crisis energética es una situación que a todos nos concierne, nuestro planeta en aras de la modernidad se encuentra inmerso en un problema de abastecimiento energético, debido a diversas causas como: El uso desmedido de bioenergéticos no renovables, el calentamiento global, la desigualdad en la distribución de los recursos energéticos y altos índices poblacionales, entre otros. Hoy en día dependemos básicamente de tres grandes fuentes de energía: petróleo, gas y carbón, expertos en la temática opinan que éstas podrían acabarse en pocos años. La oferta y demanda ha conducido al incremento de precios de los hidrocarburos, lo cual es un factor importante dentro de la crisis energética en los últimos años.

Por otro lado, la desigualdad en el acceso a estos recursos también nos da un panorama desalentador a nivel mundial, ya que una tercera parte de la población mundial no tiene accesos a la electricidad. Es importante mencionar que el aumento en el dispendio de la energía es producida por el desarrollo económico y social de los países, surgiendo en ellos la preocupación por satisfacer las necesidades de la población, haciendo un consumo sin control de fuentes de energía convencionales.

El hombre para realizar sus actividades de manera confortable no ha sido capaz de liberarse del uso excesivo de los energéticos para mantener un confort en el hogar, el trabajo y lugares de esparcimiento, prefiere someterse a pagar precios elevados para mantener sistemas de climatización de iluminación artificial que manejar la ambientación de manera armónica con la naturaleza. La decisión le parece tan absurda, ya que quiebra con los grandes monopolios que basan su economía en el consumismo y no en el bien ser, bien estar y porque no en el bien consumir consiste en buscar y emplear otras alternativas que nos permitan proseguir con nuestras actuales actividades sin que decaigan la evolución y avance, pero bajo la premisa de adecuar nuestras necesidades a los recursos que poseemos en forma y cantidad y evitar la dilapidación energética (Martínez y Velasco, 2006).

Cada vez se hace más urgente la necesidad de integrar aspectos medioambientales y el desarrollo sustentable sostenible en la política energética, saber que unos de los sectores que mayor gasto energético posee, son las construcciones públicas y privadas que no contemplan la variable sustentable al considerar la materia prima y el diseño en pro de un ambiente agradable con manejo armónico de la luminosidad y las fuentes emisoras de calor y de CO₂ además de otros componentes como el clorofluorocarbono provenientes de los aires acondicionado, que se quedan atrapados en la atmósfera, causantes del calentamiento global que producen los cambios climáticos.



En Estados Unidos el consumo promedio energético en edificaciones es el 49% de su producción total, en México se consume en ese sector el 30% de energía eléctrica y en Tabasco tenemos un consumo diario de 362 MW y en épocas de calor el consumo per cápita se incrementa hasta 422 MW, los habitantes de ésta ciudad hacen esfuerzos por poseer viviendas con características de confort en su interior, y ello los ha llevado a un derroche excesivo de uso de los aires acondicionados.

Las personas en busca de ese bienestar encienden sus equipos a 18° C, todo el día, pero cuando han alcanzado y rebasado el índice de confort, en vez de aumentar los grados del aire acondicionado, prefieren cubrirse con más ropa o se protegen con sabanas por la madrugada, que es cuando se reduce la temperatura en el exterior y por ende afecta positivamente el interior de sus viviendas. Es por ello que estudiar sobre la eficiencia energética de las edificaciones y proponer soluciones sustentables para el habitante consumidor promedio, es una gran oportunidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, que incrementan el calentamiento global del planeta.

Para reducir emisiones, es necesario maximizar la eficiencia energética de la envolvente de un edificio, la cual se compone por techo, muros exteriores y ventanas que funcionan como una barrera térmica y tienen un papel determinante en la cantidad de energía necesaria para mantener un ambiente confortable en el interior de la edificación. En base a lo anterior, se propone diseñar una cubierta multicapa, dónde cada una será construida con materiales aislantes que disminuyan los efectos del calor, la humedad y nos otorgue un ambiente interior que se ubique dentro de la zona de bienestar térmico (Givoni, 1969).



3.- JUSTIFICACION

Ante la crisis energética actual y la búsqueda de aportes para la disminución del consumo eléctrico, es necesario desarrollar estrategias y técnicas que favorezcan el diseño arquitectónico de una manera sustentable, por ello es necesario considerar el entorno ambiental, de allí la importancia de evaluar los sistemas pasivos de enfriamiento, con la finalidad de obtener el confort térmico adecuado que nos permita tener un estado completo de bienestar físico, mental y social para el hombre en los espacios arquitectónicos, y hacer un uso racional de la energía eléctrica (Morillón, 2002).

La American Society of Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers, establece en el apartado de: Condiciones de confort recomendadas en el Estandar 55-2013 del ASRHAE, que el confort es definido como aquellas condiciones de la mente, que expresan satisfacción del ambiente térmico. La confortabilidad puede ser definida como el conjunto de condiciones en las que los mecanismos de autorregulación son mínimos o como la zona delimitada por unos umbrales térmicos en la que el mayor número de personas manifiesten sentirse bien. Se sabe que el cuerpo debe mantener una temperatura de 36.5°C a 37.5° C. partiendo de ahí el diagrama bioclimático para edificios de Givoni Baruch reproducido por Jiménez (1984), establece que el rango de comodidad térmica es de 22° a 28° C.

Para éste estudio es importante conocer las principales variables climáticas que influyen sobre el confort las cuales son: La temperatura del aire. (TA), que es el factor que más influye de manera directa sobre el bienestar. La velocidad del viento (VV), que aumenta la disipación de la energía por evaporación y convección siempre que la temperatura de la piel sea menor a la del aire, y cuando se tienen temperaturas arriba de 40°C el viento aumenta la sensación de calor. La radiación (R), algunos investigadores sugieren que la temperatura radiante es mayor que la del viento. La humedad (H), regula la evaporación y desempeña un rol muy importante en las altas temperaturas, siendo la sudoración en el ser humano, mecanismo natural de enfriamiento, pero cuando existen límites extremos tenemos que una humedad por debajo del 20% nos ocasiona disconfort, resequedad en la mucosa que logra acrecentar los peligros de una infección, una humedad que pasa el 60% y sobre todo el 80% aumenta la sensación de calor y mucho bochorno, aquí se produce el sudor pero no la evaporación.



4.- ANTECEDENTES

La siguiente investigación parte de la 1ª Ley de la conservación de la energía y el respeto al contexto ambiental. El primer principio nos dice que la energía no se crea ni se destruye; sólo se transforma de unas formas en otras. En estas transformaciones, la energía total permanece constante; es decir, la energía total es la misma antes y después de cada transformación (1ª Ley de la Termodinámica). La Energía puede manifestarse de diferentes maneras: en forma de movimiento (cinética), de posición (potencial), de calor, de electricidad, de radiaciones electromagnéticas, entre otras. La Energía térmica se debe al movimiento de las partículas que constituyen la materia. La transferencia de energía térmica de un cuerpo a otro debido a una diferencia de temperatura se denomina calor (Kurt, 2006,; INICAP, 2011).

Los avances tecnológicos y análisis de los sistemas pasivos de enfriamiento son sustentados en investigaciones para aplicarlas en diseños de las edificaciones con el fin de madurar una arquitectura adaptada al clima regional (Fajardo, 2005). Por ello es muy importante comprender en qué consiste éste concepto. Partiendo de que los sistemas pasivos son aquellos donde el flujo de energía calórica se efectúa por medios naturales a través de radiación—conducción térmica y convección natural (Morillón, 2002). Identificándose por formar parte de la estructura misma de la edificación, acoplados a las características del medio ambiente. Podemos enunciar que estos sistemas pueden captar, bloquear, transferir, almacenar o descargar energía en forma natural y casi siempre auto regulables.

La clasificación de las técnicas de los sistemas pasivos de enfriamiento (SPE) por requerimientos de climatización es el resultado del estudio del bioclima del lugar. Un SPE del espacio contiene los siguientes elementos: Un espacio que va a ser enfriado, un enfriador o sumidero de calor, (cielo, atmósfera, o suelo), hacia el cual el calor se descargue y un almacén térmico, (que puede ser la capacidad de almacenamiento térmico de la masa en la edificación) para enfriar el interior del edificio, en el período en el que el sumidero de calor no está presente. El objeto de estudio de la investigación será basado en el proceso de Enfriamiento Indirecto el cual trabaja por transferencia de calor hacia una superficie, que a su vez, esté siendo enfriada directamente por exposición al (los) sumidero(s) de energía del ambiente, o que ha sido enfriada en otro momento, pero su capacidad de almacenamiento térmico, le permite seguir enfriando el espacio.

Se busca emplear este sistema, con la finalidad de aprovechar el potencial de los materiales y las energías naturales, reducir la dependencia de los recursos no renovables y minimizar los efectos contaminantes. Considerando que la ciudad de estudio tiene un clima cálido húmedo, se trabajará solamente en: Control térmico (Enfriamiento) y Control solar (Protección). El propósito general que se persigue con la aplicación de los Sistemas Pasivos será formular y evaluar el comportamiento



térmico de una cubierta multicapa a base de diferentes materiales que deben caracterizarse por lo siguiente:

- Ser irradiantes.
- Tener baja conductividad y resistencia térmica.

Además se consideró para el experimento que éstos materiales fuesen reciclados entre ellos tenemos la viruta de madera de pino, el poliestireno que se puede encontrar y recolectar con facilidad. Y deberá ser dividido en partes muy pequeñas para un buen funcionamiento del sistema.

Esto nos conducirá a una solución eficaz y económica para su implementación en la construcción y evitará el sobrecalentamiento de la cubierta por radiación y conductividad. Producidos por el tipo de clima cálido húmedo, evitando ganancias térmicas al interior de los espacios arquitectónicos a favor de un acercamiento a los niveles de confort adecuados, que redundará en una disminución de consumo energético y contaminación ambiental por uso de dispositivos artificiales de enfriamientos (Morillón, 2002).

Contribuyendo al logro de construcciones respetuosas con el medio ambiente y el contexto que las rodea, provocando la ruptura de una cultura derrochadora de energía, expresada por la tendencia local hacia el uso indiscriminado de los sistemas de aire acondicionado convencionales y justificar plenamente el trabajo en esta área del acondicionamiento natural del espacio habitable (Givoni, 1998).

4.1.- Influencia del clima y su relación con el hombre.

El hombre y los seres vivos que co-habitan el globo terráqueo, han buscado adaptarse a las condiciones climáticas variables de su entorno y a los impactos que estas causan a su organismo. Sin embargo el hombre a diferencia de los demás seres vivos tiene la capacidad de poder modificar las condiciones ambientales de su entorno a través de su arquitectura.

Desde la antigüedad hasta nuestros tiempos el ser humano ha sido conocedor de la influencia climática y ha mostrado especial interés por definir las condiciones más convenientes para su salud y bienestar, explorando emplazamientos adecuados y diseñando sus espacios arquitectónicos tomando en cuenta las características del medio ambiente.

En épocas antiguas Hipócrates en sus "Aforismos", precisó la influencia del clima y el medio relacionado con la salud y bienestar de los hombres. El refería que el agua, el aire y el clima son los factores primordiales que explican la salud de los habitantes de una comunidad específica. Aristóteles afirmaba que las ciudades más sanas son las construidas en una ladera orientada hacia el este, ya que argumentaba que el viento sopla desde el cuadrante de la salida del sol. Mientras que Hipócrates en su



obra De los Aires, de las Aguas y de los lugares, realizó algunas consideraciones y comentarios acerca de la exposición de las edificaciones al ambiente, y sus consiguientes consecuencias en la salud. Vitrubio menciona dentro de los principios de las ciudades amuralladas que debían seleccionar un terreno totalmente favorable, en una zona elevada y lugar abierto despejado de nieblas. La orientación era sumamente importante ya que los seres animados que habitaban éstos lugares podían agobiarse ante el impacto del calor en verano y de los fríos en invierno debido a los cambios de temperaturas. También explica que los edificios deben orientarse atendiendo a las peculiaridades climáticas de cada región, dando como resultado diversas formas de construcción. Existiendo diferencias entre una construcción en Egipto o España, en Ponto o Roma debido a que se tienen zonas muy afectadas por la trayectoria del sol y otras se encuentran muy alejadas de él.

La hipótesis de Huntintong, del determinismo climático, dejó asentado que el tipo de clima junto con la herencia racial y el desarrollo cultural constituía uno de los tres principales factores que determinan las condiciones de la civilización. En su postulado se puede encontrar una condición climática óptima donde aseguraba que la temperatura media debía oscilar entre 4.4°C en los meses más fríos hasta alrededor de los 21.1°C en los más cálidos.

Ante la crisis energética originada en la década de los setentas la sociedad descubre con admiración que la energía artificial en que se apoyan era un bien con límites y que no podían explotarlo sin ninguna consideración. Esto trajo como consecuencia el replanteamiento entre edificación y energía en el mundo de la arquitectura. En las investigaciones descubren que años atrás un autor ya había profundizado en la relación de arquitectura-lugar, forma y clima o urbanismo-regionalismo. Olgyay (1998) fue quien presentó un trabajo de interpretación bioclimática, donde evaluaba aspectos regionales y elementos climáticos. Consistente en un plano gráfico cartesiano donde sitúa en el eje de las abscisas la humedad relativa, y en el eje de ordenadas la temperatura de bulbo seco, en su interior se traza la zona de confort higrotérmico para una persona en reposo y a la sombra, afectada por el movimiento y humectación del aire, así como la radiación solar. Definiendo con claridad el límite de confort a partir del cual se puede generar el golpe de calor o insolación.

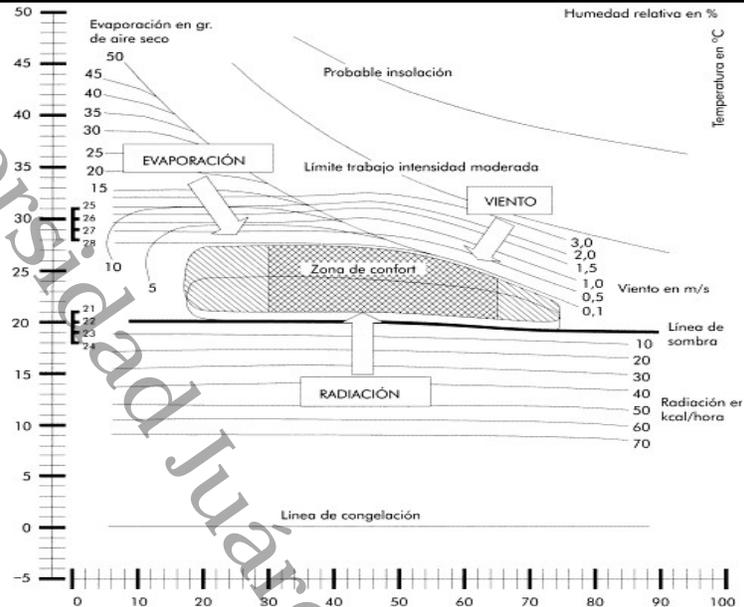


Figura 1.- Diagrama Bioclimático de Olgay (Reproducido por Farinña 1990).

Givoni (1969), basándose en el modelo de Olgay, desarrolla un climograma que es un diagrama psicrométrico donde traza una zona de confort higrómetroica para invierno y verano dirigido a hombres y mujeres caucásicos en un clima moderado. Ahí mismo propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort térmico, mediante la incorporación y aplicación de estrategias de diseño pasivo. A mediados de la década de los 70's realiza otro climograma corregido y dirigido para zonas tropicales y subtropicales, empleando valores de temperatura y humedad medios mensuales para trazar las características bioclimáticas de un sitio. Aportando a la arquitectura estrategias para trabajar en proyectos ideales con el fin de ubicarlos en zonas de confort sin uso de energías adicionales que no sean del sol, viento, temperatura día-noche y la humedad ambiental.

4.2.- Antecedente Internacional.

Investigaciones relacionadas con éste proceso, son las realizadas por Vecchia y Castañeda (2006), ellos aportan la investigación relacionada con el comportamiento de las temperaturas interiores en las edificaciones. Basado en un análisis comparativo de cuatro cubiertas tradicionales y su comportamiento térmico, para determinar si éstas pueden situar los espacios arquitectónicos dentro del rango de confort térmico. El proyecto se denominó: "Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas", en Sao Paulo, Brasil. Sugieren las condiciones térmicas mínimas en base al contexto climático de la ciudad mencionada. La metodología empleada por Vecchia y Castañeda fue la siguiente:

- Seleccionaron del día típico experimental.
- Determinaron sistema constructivo.



- Determinaron condiciones térmicas mínimas.
- Determinaron rangos de temperaturas que provocan estrés térmico por calor.

Una peculiaridad de ésta investigación es la propuesta del sistema constructivo de las cubiertas. Donde se tienen 3 módulos que se fabricaron con los siguientes materiales respectivamente: acero galvanizado, fibrocemento, teja de cerámica y un cuarto módulo realizado con lámina de acero galvanizado recubierto con poliestireno de 150 mm de espesor. Se analizaron comparativamente con el método de día típico, se registraron las temperaturas superficiales interiores de las cuatro células de evaluación, se expusieron a una masa tropical atlántica (mPA), seca y caliente, cielo despejado y con una radiación global de aproximadamente 900 W/m^2 .

El análisis determinó lo siguiente, las cubiertas fabricadas con acero galvanizado, cerámica y fibrocemento, aportaron calor registrando temperaturas más altas que el límite de los 30°C durante varias horas del día alejándolas de la zona de confort térmico. En cambio, la construida con acero galvanizado y una protección de poliestireno no reportó temperaturas arriba de los 30° en ningún momento del día, parámetro que se ha tomado como límite de calor y que está por debajo de la temperatura de la piel. Lo que nos indica que no afecta de manera agresiva las condiciones térmicas de la edificación. Lo que permite asentar la sugerencia de la colocación de otro u otros dispositivos de protección solar, temperatura, humedad del aire, dirección y velocidad de vientos para impedir los intercambios térmicos.

Gatani *et al*, (2008) realizan investigaciones desarrollando técnicas alternativas para alcanzar eficiencia energética en las edificaciones. El proyecto denominado "Definición de Indicadores de Análisis de Diseño Sustentable", ubicado en Punta Serrana a 9 km de Alta Gracia, provincia de Córdoba, Argentina, Plantea un diseño adecuado de las envolventes de la edificación al emplear materiales que le aporten eficiencias energéticas en relación a las condiciones climáticas del lugar. En la metodología empleada se aprecian los siguientes aspectos:

- Describieron la localización y emplazamiento.
- Clasificaron el estado bioambiental.
- Consideraron las referencias climáticas del sitio.
- Determinaron la orientación de la vivienda.
- Estipularon los indicadores de diseño de las envolventes en techo y muros.
- Analizaron el comportamiento térmico de las envolventes laterales y superiores con el estudio de asoleamiento, comportamiento térmico y cálculo de la fracción de ahorro solar (FAS) de la región.

A continuación se describen las características de los materiales de las envolventes (muros y techos) de la vivienda utilizada por Gatani:



- Muro orientados al éste, oeste y sur: contruidos con bloque cerámico, cámara de poliestireno de alta densidad, revocados y pintados en ambas caras.
- Muros orientados hacia el norte en planta baja: contruidos con ladrillo macizo de 0.45 cm de espesor revocados y pintados en ambas caras.
- Techos planos: contruidos con viguetas, se les aplica cielorraso, capa de compresión, barrera de vapor, membrana asfáltica, poliestireno de alta densidad y canto rodado.
- Techos inclinados: contruidos con estructura metálica, con cubierta de chapa, cámara de aire, aislante hidrófugo, capa aislante de 3" de lana de vidrio, barrera corta de vapor y cielorraso de placa de yeso.

El análisis de los resultados del proyecto permitió establecer indicadores de diseño sustentables para la zona. Entre algunos de estos indicadores se pueden mencionar que con una adecuada orientación es posible controlar la radiación y aprovechar la energía solar mediante sistemas pasivos para calentamiento a través del aislamiento de las envolventes laterales y superior para lograr el confort térmico, obteniendo poco impacto ambiental.

Peña *et al*, (2009) realizaron el proyecto denominado "Vivienda de Bajo Consumo Energético" en la capital Española Madrid, ciudad que posee un clima templado donde se registra una temperatura promedio de 14.5°C, con inviernos muy fríos, y temperaturas inferiores entre 4 y 5°C, heladas frecuentes y nevadas. Partiendo de éstas características climáticas desarrollaron un trabajo de investigación cuyo objetivo fue diseñar y construir un cerramiento térmico compuesto por múltiples capas (cerramiento multipiel) para una vivienda, y evitar pérdidas térmicas. Propusieron un sistema basado en tecnología energética de construcción Tierra-Sol, que se clasifica de la siguiente manera:

- Un cerramiento activo para gestión del comportamiento térmico y climatización en el interior de la edificación.
- Un sistema de captación de energía integrado en muros y cubiertas.
- Un sistema de acumulación fijo de energía en el subsuelo u otros materiales.

Con ello se pretende aprovechar la energía que se recibe y al mismo tiempo dotar de energía a la envolvente del edificio y al interior del mismo, así como, recuperación del calor del aire expulsado por medio del control del flujo de renovación. El sistema de cerramiento multipiel está conformado por 7 capas, siendo las capas 1 y 7 las más densas (interior y exterior de la vivienda respectivamente) las cuales poseen una conductividad térmica elevada, ésta característica las hace perfectas para que actúen como intercambiadores de calor, así la capa 1 actúa como techo o muro radiante hacia el interior de la vivienda, y la capa 7 tiene la función de capturar la energía térmica en cubierta o muro del edificio. Las capas porosas 2, 4 y 6, son de elevada conductividad al calor, y las capas 3 y 5 densas al aire están constituidas



por materiales de muy baja conductividad térmica (aislantes). Esto es posible observar de manera más clara en la siguiente figura.

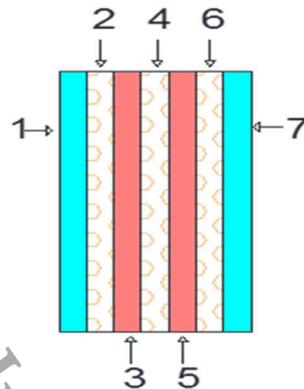


Figura 2.- Croquis de Cerramiento Multipiel.

El cerramiento múltiple, nos refiere que la capa 3 térmicamente conductora, y capa 4 porosa, establecen superficies isotermas interiores del cerramiento cuando se les aporta energía a través de aire forzado a circular por ellas. La energía térmica indispensable reside en las superficies isotérmicas interiores al cerramiento, que procede de los intercambiadores de calor aportando un flujo térmico controlado a una temperatura adecuada para cada capa del sistema. Ésta última queda determinada por las aportaciones que provienen de las fuentes de energía que se tenga, mínima pérdida de energía a través del cerramiento, máxima duración y fiabilidad de las fuentes.

La cubierta y acumulación de energía en el subsuelo tiene la misma composición que los muros, posee además un circuito de tuberías sobre la cámara captadora, al que se le inyecta agua o aire. La energía térmica en la cubierta es enviada a un acumulador estacional de energía, aportando además calor al subsuelo. La acumulación de calor es estacional y puede dividirse por zonas según rangos de temperatura de operación o aprovechamiento de las cámara isotermas del cerramiento. La metodología para analizar el comportamiento térmico del cerramiento se realizó por simulación empleando un software, con los siguientes datos:

- Datos de las condiciones iniciales y de contexto que impactaron el fenómeno.
- Temperatura ambiente exterior.
- Radiación solar en base a la normativa española del Código Técnico de la Edificación (CTE).
- Temperatura de confort 24°C verano.
- Velocidad de entrada del aire en cada cámara.
- Variable según la eficiencia de arrastre de energía.
- Temperatura de entrada en la cámara 1, igual a la temperatura exterior.



- Temperatura de entrada de aire en la cámara 3, igual a la temperatura de confort.
- Temperatura de entrada de aire en la cámara 2 igual a una temperatura intermedia de equilibrio entre la exterior y la de confort.

4.3.- Antecedente Nacional.

La crisis energética de 1973 dio lugar a cambios importantes en los modelos de consumo de energía a nivel mundial. Las instituciones gubernamentales empezaron a preocuparse por crear organismos que evaluaran y regularan el consumo energético. Como consecuencia surge en México en el año de 1989 la Comisión Nacional de Ahorro de Energía (SENER, 2003), cuyos objetivos fundamentales son contar con lineamientos de acción relativos hacia el ahorro y uso eficiente de energía, procrear y promover programas nacionales de ahorro de energía y coadyuvar la conciliación y aplicación de normas para el ahorro y uso equitativo de energía. Las normas que se han propuesto incluyen lineamientos para la disminución del uso de aire acondicionado en edificaciones como lo propone la Comisión Nacional de Fomento a la vivienda (CONAFOVI, 2006) actualmente Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI).

En nuestro país contamos con La Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, denominada Eficiencia Energética en Edificaciones, envolvente de edificios no residenciales. Esta Norma tiene como objetivo principal limitar la ganancia de calor en las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. Optimizando el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, a través del cálculo de ganancia total de calor de un edificio proyectado y otro edificio de referencia, el cual es similar en geometría, orientación, colindancia, dimensiones en planta y elevación.

Esta Norma aplica a todos los edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes, quedando excluidos los de uso industrial y habitacional. Tiene como referencia las Normas NOM-008-SCFI-1993 y NOM-018-ENER-1997.

La norma la NMX-C-460-ONNCCE-2009, denominada: Industria De La Construcción–Aislamiento Térmico–Valor “R” Para Las Envoltentes De Vivienda Por Zona Térmica Para La República Mexicana-Especificaciones y Verificación, elaborada por el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. (ONNCCE, 2009). Tiene como objetivo principal ayudar a disminuir el empleo de energía en las viviendas por concepto de uso de sistemas de aire acondicionado, al establecer los valores de resistencia térmica total (valor R), en techos, muros y entrepisos ventilados para la zona térmica donde se localice la vivienda.



El valor “R” es la suma de las resistencias superficiales internas, externas y de las resistencias térmicas de las varias capas de los diversos materiales que componen al elemento de la envolvente. Al incluir éste valor al mínimo en las envolventes de la vivienda busca satisfacer los códigos o estándares de construcción de manera pasiva, sin considerar equipos de climatización, análisis y demanda energética, empleando la envolvente solamente para protección del medio ambiente.

La Norma nos indica tomar en cuenta las siguientes consideraciones previas al diseño del aislamiento térmico, el valor “R” Total a satisfacer, los materiales, componentes, sistema constructivo de la zona térmica y el propósito del aislamiento, se hace necesario también el cálculo de la resistencia térmica parcial por cada componente de la envolvente. El aislamiento térmico se da por la combinación de varios materiales para formar una estructura que da soluciones de confort y forma parte parcial o total de la envolvente. La Norma emplea la tabla de zonas térmicas para utilizarla en el cálculo del valor “R”, basada en la clasificación climática internacional (Clasificación Köppen), y una zona climática de la República Mexicana elaborada por la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI) en la que ubica al estado de Tabasco en la zona térmica No. 2.

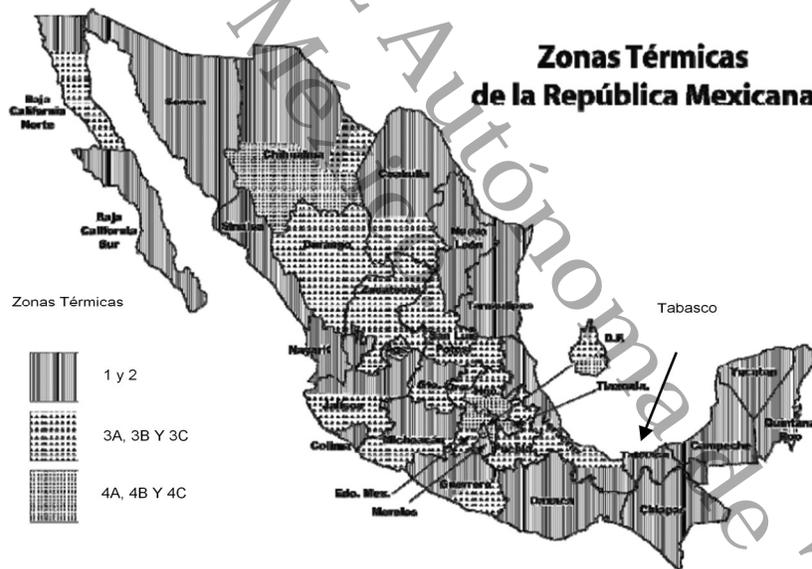


Figura 3.- Zonas Térmicas de la República Mexicana. (CONAVI)

La NOM-020-ENER-2011, fue elaborada por elaborada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), en colaboración con otros organismos, denominada: Eficiencia Energética. En Edificaciones. Envolvente De Edificios Para Uso Habitacional, tiene como objetivo principal limitar la ganancia de calor de los edificios para uso habitacional a través de su envolvente, con el propósito de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento. Es aplicable a todos los edificios nuevos para uso habitacional y las ampliaciones de los edificios



para uso habitacional existentes. Determinar un presupuesto energético máximo, con las características de la envolvente definidas en la norma. En ella citan el método para calcular y comparar las ganancias de calor a través de la envolvente entre un edificio habitacional de referencia y otro edificio habitacional proyectado. La norma cita la clasificación de las envolventes donde tenemos el nombre del componente, los grados de inclinación de la normal a la superficie exterior con respecto a la vertical y las características de sus partes.

4.4.- Antecedente Regional.

Castañeda *et al.*, (2008), desarrollan un proyecto denominado "Desempeño Térmico de Techo Alternativo para Vivienda", en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, México. Basaron su metodología en la climatología dinámica mediante la determinación de un día típico experimental. Que consistió en Establecer el período representativo de máximo calor, que caracteriza las variables climáticas de la zona de estudio, definieron los materiales con que se construyeron los modelos experimentales. La 1ª cubierta se fabricó a base de concreto armado, la 2ª con placa losa, la tercera es un sistema similar a la placa losa adicionándole otro acabado. Aunque en todas las cubiertas se empleó el acero y concreto, a la 3ª se le termina con materiales aislantes sobrepuestos. Los materiales finales de la tercera cubierta denominada techo alternativo fueron los siguientes: politereftalato de etileno (PET), aserrín (A) y cascara de coco (CC). Los resultados arrojados de ésta investigación concuerdan en que el techo alternativo comparado con los otros dos sistemas, obtuvo mejores resultados en su comportamiento térmico logrando temperaturas menores a las de las otras cubiertas. Concluyendo que las personas que habitan en espacios donde la cubierta típica es de concreto como el caso de la ciudad de Tuxtla, y no poseen protección contra la radiación sufren de estrés térmico debido a las altas temperaturas que se registran en sus espacios interiores.

4.5.- Referentes generales.

En relación al tema de envolventes y confort térmico, en literatura y publicaciones recientes encontramos algunos documentos que amparan los trabajos que dependencias e investigadores desarrollan actualmente, entre los que podemos citar:

- Arham (2005), realiza investigaciones sobre la Valoración de la Respuesta Térmica en Edificios y la Repercusión Dinámica de la Envolvente. Desarrolla una metodología para todas las consideraciones de diferentes aspectos que determinan la calidad del edificio enfocándose principalmente a la envolvente. Realiza una evaluación total de los parámetros exteriores que más impactan la respuesta térmica interior del edificio tomando en consideración las variables de entrada (radiación solar, temperatura exterior y ventilación) y de salida (temperatura interior).



- Mecott (2007), en su labor investigativa denominada Vivienda Bioclimática con Paneles Modulares de Ferrocemento y Materiales Aislantes Alternativos para la ciudad de Oaxaca, tiene como objetivo principal diseñar una vivienda bioclimática. En su metodología plantea un sistema constructivo de paneles modulares de ferrocemento en muros y cubiertas, también un estudio climático para la ciudad donde desarrolló su experimento. Estableció además estrategias de adecuación ambiental a través de una carta psicrométrica y un modelo de confort térmico.
- Evaluó el diseño de la vivienda, el sistema constructivo y materiales propuestos con el método de simulación térmica dinámica. Los resultados demostraron que el desempeño del diseño del sistema constructivo de muro y cubierta de paneles modulares generaron un ahorro de energía del 47% comparándola con una vivienda tradicional de esa región.
- La Comisión Nacional de Vivienda ha realizado talleres referentes a los materiales para aislamiento térmico, que se supeditan a la Norma NMX-C-460-ONNCCE-2009, denominados “Taller para el Aislamiento Térmico de la Vivienda” y Uso de Aislamiento Térmico de la vivienda”. En el primero de ellos se capacita en el conocimiento de la Norma antes mencionada y el segundo se educa en el empleo y colocación de los aislantes térmicos en edificaciones. Los aislantes térmicos se seleccionan en base a la normatividad, sistemas constructivos tradicionales del lugar, la zona climática y la resistencia térmica del sistema constructivo con el que se trabajará.
- Rojas et al, (2010), realizan investigaciones a través de Grupo de Energía en Edificaciones del Centro de Investigación en Energía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Desarrollando los proyectos que a continuación se mencionan. Sustentabilidad Energética, trabajando en coordinación con el Fondo de SENER-Conacyt, realizando actividades de estudio en campo para determinar el uso de Sistemas Pasivos en la vivienda en 4 zonas del país. Otro proyecto denominado Estrategias de Enfriamiento de Bajo consumo de energía para edificaciones localizadas en climas cálido-subhúmedo, en colaboración con Conacyt-Morelos. Desarrollando indicadores de desempeño térmico de la envolvente en las construcciones. De estas investigaciones no se encuentran aún resultados publicados, ya que se encuentran trabajando actualmente en estos temas.
- Salamanca (2011), con su trabajo Análisis y Propuestas de Mejoras de la Envolvente Térmica para vivienda Población San Maximiliano Kolbe en Osorno, analiza la envolvente térmica de una vivienda y su consumo energético en condiciones actuales con el fin de mejorar la condición de confort y disminuir el consumo energético.



5.- MARCO TEÓRICO.

5.1.- Enfoque de sistemas y dinámica de una edificación.

Arcelis (2011), define un sistema como un objeto dotado de alguna complejidad, formando partes coordinadas, de modo que ese conjunto tenga una cierta unidad, cuyos elementos interactúan juntos, y que continuamente se afectan unos a otros, de tal manera que operan hacia una meta en común, como una identidad que los distinguirá de lo que lo rodea y es capaz de mantener ésta identidad a lo largo de un período bajo entornos cambiantes. Caracterizado por el hecho que se puede especificar claramente las partes que lo componen y sus relaciones entre esas partes mediante los que se articulan en la correspondiente unidad. Otro término relacionado a ésta definición es la dinámica, con la que expresamos el carácter cambiante de aquello que adjetivamos con ese término explica.

Una vez establecidas estas definiciones podemos asociar los términos entendiéndolos como sistema dinámico. Al hablar de la dinámica de un sistema (Donald, 1995), nos referimos a que las distintas variables que podemos asociar a sus partes, las cuales sufren cambios a lo largo del tiempo, como consecuencia de las interacciones que se producen en ellas. Su comportamiento vendrá dado por el conjunto de las trayectorias de todas las variables que nos darán respuestas de lo que ocurra en el sistema. Donde las trayectorias serán las representaciones gráficas del comportamiento de una variable "tiempo" normalmente en la abscisa y en las ordenadas la variable correspondiente.

Donde apreciaremos las tendencias globales del comportamiento del sistema. Los cambios de un sistema se manifiestan mediante su proceder, y su trama de relaciones constituye lo que se denomina estructura. Para el análisis del sistema que nos compete analizar, se tendría que hacer una disección, al menos conceptual del mismo, para establecer las partes que lo forman, aunque ello no bastaría ya que se necesita saber cómo se integran, cuales son los mecanismos mediante los que se produce su coordinación y las síntesis de las partes del mismo.

Acotaríamos que la edificación se denominaría el sistema, limitado por la envolvente del mismo que son las paredes, suelo y techo, éstos reaccionan al interactuar con el medio natural exterior que lo rodea en base a su estructura definiendo la manera en que el sistema trabaja, al efectuarse ésta metamorfosis las variables reaccionan obteniendo resultados predichos, determinando los consecuencias del ambiente de la edificación que se busca obtener.

El registro de los datos que se adquieren de las variables, asumen un comportamiento diferente debido a que durante el proceso de interacción del sistema con el entorno natural, son expuestos a eventos y tiempos diferentes. Por ello de la gran cantidad de datos obtenidos a través de la aplicación de cálculos aritméticos, podremos obtener parámetros para compararlos con otros, para comprobar su ajuste a un modelo ideal, y tomar decisiones.



5.1.1.- Termodinámica del edificio.

Desde los tiempos de la Grecia antigua, la naturaleza del calor intrigó a los hombres de ciencia. El poder comprender esta naturaleza tuvo una emocionante historia, íntimamente ligada al desarrollo de la propia termodinámica. Las primeras ideas sobre la interpretación del calor fueron esbozadas por los griegos, entre ellos Demócrito, Epicuro y Lucrecio. Para ellos el calor era una especie de sustancia. En el siglo XVII el calor era visto como una forma de movimiento. Algunos destacados científicos se habían acercado considerablemente a la explicación de la naturaleza del calor, ligándolo al movimiento desordenado de las moléculas. La verdadera explicación de los fenómenos calóricos tuvo que esperar el desarrollo de los primeros principios de la termodinámica y la teoría estadística fundada en el siglo XIX.

Sin embargo la experiencia acumulada por científicos como Robert Boyle (1627-1761) y James Watt (1736-1819) entre otros fueron dando forma a la actual ciencia que hoy conocemos como termodinámica.

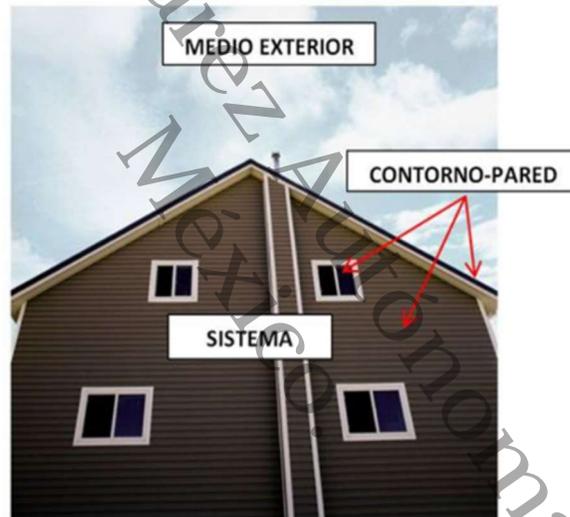


Figura 4.- Sistema y medio exterior.

La termodinámica, atendiendo a su etimología es la unión de las palabras griegas “termo” que hace referencia al calor y “dinamis” que hace referencia a Potencia o fuerza definición dada por el Instituto Nacional de Capacitación Profesional (INACAP, 2011). Estudiando el intercambio de energía en sus diversas formas, las propiedades de la materia y el uso racional de la energía.

Es la rama de la física que estudia la relación entre energía, trabajo y calor. La termodinámica estudia “sistemas” (objeto a estudiar). Definimos un sistema termodinámico, como aquella región en el espacio que ocupa un volumen y tiene una frontera real o imaginaria, y al volumen externo a la frontera lo llamaremos entorno del sistema, que es la parte física capaz de afectar nuestro sistema (Begoña, 2007). Por analogía, podemos denotar en ésta investigación que el sistema es el edificio a estudiar, la frontera es la envolvente o piel del mismo y el entorno, sería el medio ambiente que rodea a la edificación.

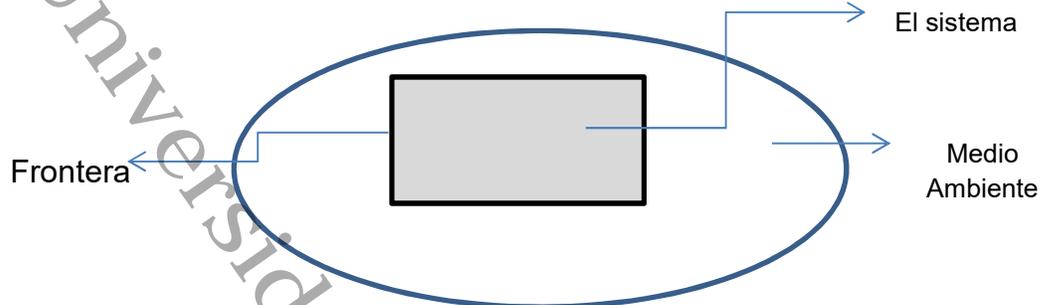


Figura 5.- Esquema: División de un sistema (Begoña, 2007).

Para el análisis del sistema que nos compete analizar, se tendría que hacer una disección, al menos conceptual del mismo, para establecer las partes que lo forman, aunque ello no bastaría ya que se necesita saber cómo se integran, cuales son los mecanismos mediante los que se produce su coordinación y las síntesis de las partes del mismo.

Acotaríamos que la edificación se denominaría el sistema, limitado por la frontera que son la envolvente del mismo “las paredes, suelo y techo”, éstos reaccionan al interactuar con el medio ambiente exterior que lo rodea en base a su estructura definiendo la manera en que el sistema trabaja, al efectuarse ésta metamorfosis las variables sufren transformaciones obteniendo resultados predichos, determinando las consecuencias del ambiente de la edificación que se busca obtener. Debemos acotar que el sistema no es homogéneo debido a su constitución de diversos materiales (constructivos, aire, entre otros) (Rolle, 2006).

El proceso que se generará en el sistema propuesto en ésta investigación será entonces el cambio de estado que ocurre, al evaluar el estado inmediato antes y después de esa permutación, aclarando que el calor solo se presentará durante ésta transición cuando exista una diferencia de temperatura entre el sistema y sus alrededores y solo a través de la frontera del mismo, debido a que la dirección de transición de energía siempre se da hacia la zona de menor temperatura, como lo menciona (Rolle, 2006). Esto es, el calor saldrá del sistema si éste se encuentra más caliente que sus alrededores, y si es más frío que ellos, el calor entrará nuevamente al sistema. Esta transición de energía continuará en la misma dirección hasta que el sistema y sus alrededores estén aislados termodinámicamente uno del otro o alcancen el equilibrio térmico.

El trabajo que nos ocupa se basará en el supuesto arriba mencionado, ya que se espera que el sistema multicapa propuesto alcance ese equilibrio. Para lograr una mayor eficiencia en él los materiales propuestos para su construcción fueron seleccionados por su baja conductividad térmica. Se pretende lograr que el espacio arquitectónico de estudio se encuentre dentro de los parámetros de confort.



Partiendo de que en el sistema su masa permanecerá sin cambio durante el proceso pero no así la cantidad de energía generada, denominaremos al mismo como un “sistema termodinámico cerrado”. Por consiguiente si la energía se conserva en el proceso del mismo, tenemos el Principio de Conservación de la materia que es el siguiente: “Cuando un sistema pasa por un proceso, algunas de sus propiedades se alteran pero la masa se conserva. Y se plantean las siguientes ecuaciones:

Tabla 1.- Ecuaciones del Principio de la conservación de la Materia (Rolle, 2007).

$E_{ent} = E_{sal} = \Delta E_{sistema}$ (1)

Donde:

(+) E_{ent} Implica energía que entra al sistema (1a)

(-) E_{sal} Implica energía que sale del sistema (1b)

si presentamos el calor Q tendríamos: $Q = \Delta E_{sist.}$ (2)

$E_{ent} = +Q$ Con una transferencia de calor (+) se calienta el sistema. (2a)

$E_{sal} = -Q$ Con una transferencia de calor (-) se enfría el sistema. (2b)

Primer principio de la termodinámica.

La Primera Ley de Termodinámica, nos dice: La energía no se crea ni se destruye, solo se transforma en sus diversas formas. Más específicamente, ésta ley establece que al variar la energía interna en un sistema cerrado, se produce calor y un trabajo. Dentro de éste tipo de sistema podemos demarcar que es una aplicación directa del principio de la Conservación de la energía aplicado a una determinada masa. Por ello el calor suministrado a un sistema, se invierte cuando varía la energía interna de dicho sistema. La energía interna de un sistema termodinámico está compuesta por la energía cinética de movimiento de las moléculas y la energía potencial de disposición mutua de las mismas. Toda variación de la energía interna se refleja en una variación de temperatura, que es lo que finalmente buscamos demostrar con el experimento propuesto (Rolle, 2006).

Tabla 2.- Ecuación de cambio en la energía interna de un Sistema (Rolle, 2007).

El primer principio se puede escribir así: $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$ (3)

Dónde:

$+\Delta U =$ Cambio en la energía interna. (3a)

$+\Delta Q =$ Calor agregado al sistema. (3b)

$-\Delta W =$ trabajo realizado sobre el sistema (3c)

Por lo tanto ΔQ y ΔW son de signo contrario, por lo que hay que adoptar un criterio de signos. El calor suministrado a un sistema es positivo y el trabajo realizado por el sistema también, por el contrario todo trabajo realizado sobre el sistema es negativo, al igual que el calor cedido por éste. De ésta forma la energía interna que posee un sistema puede variar debido a un intercambio de calor.



5.1.2.- Sistemas Pasivos de climatización.

Los antecedentes de los Sistemas pasivos, datan desde los griegos, los romanos y los representantes de muchas otras culturas, éstos sabían cómo calentar, enfriar, ventilar, iluminar y adecuar sus casas al ambiente, la era actual tan moderna, tecnológica y electrónica lamentablemente no permite ni favorece que el hombre entre en contacto con la naturaleza (Lacomba, 1991). El costo económico de calentar o enfriar los edificios con gas o electricidad es muy alto, por lo cual la alternativas más lógica es usar el ambiente a favor como lo han hecho los grandes arquitectos como Le Corbusier en Francia, Frank Lloyd Wright en Estados Unidos, Vladimir acosta en Argentina Y Ricardo Legorreta en México, empleando elementos constructivos que forman parte del diseño constructivo.

Existen varias enunciaciones acerca de lo que es un sistema pasivo. En sí, el término pasivo se empezó aplicar hace sólo unos cuantos años a aquellos sistemas de climatización ambiental, los cuáles buscan adecuar una construcción al ambiente y lograr una arquitectura eficaz y confortable, los describe como aquellos que utilizan al sol, las brisas, la vegetación y el manejo del espacio arquitectónico, sin depender de sistemas electromecánicos para crear un microclima interior adecuado (Lacomba, 1991). Lacomba (1991), nos menciona que las ventajas más obvias de los sistemas pasivos son las económicas, al ahorrar en combustibles y electricidad, pero no olvidando otras ventajas que no dejan de ser importantes como las de obtener un mayor bienestar ambiental, buena temperatura y benéfica luz natural, así como una estupenda comodidad fisiológica y psicológica.

Morillón (2002), define a los sistemas pasivos de climatización como aquellos que se caracterizan por la nula dependencia de energéticos convencionales, como los de origen fósil, contribuyendo de manera contundente al ahorro y uso eficiente de los recursos no renovables. Los sistemas pasivos se caracterizan por formar parte de la estructura misma de la edificación, aunque acoplados de tal manera a las características del medio ambiente, que pueden captar, bloquear, transferir, almacenar o descargar energía en forma natural y casi siempre autorregulables, según el proceso de climatización implicado. En la investigación que se está realizando demandamos las acciones de captar, transferir y descargar la energía.

En la clasificación de los sistemas pasivos de climatización se consideran tres aspectos:

- La Configuración estructura.
- Género
- Requerimientos de climatización.



Tabla 3.- Clasificación por Requerimientos de Climatización (Morillón, 2002).

División por requerimientos de climatización	
Control térmico	Calentamiento Enfriamiento
Control de humedad	Humidificación Deshumidificación
Control solar	Protección Captación

Cuando se refiere al Control Térmico se deben tener presentes las necesidades de calentamiento e enfriamiento mediante los sistemas pasivos. En ésta investigación se requiere enfriar el espacio arquitectónico. Un sistema pasivo de enfriamiento del espacio, contiene los siguientes elementos:

- Un espacio que va a ser enfriado.
- Un enfriador o sumidero de calor, (cielo, atmósfera, o suelo), hacia el cual el calor se descargue.
- Un almacén térmico, (que puede ser la capacidad de almacenamiento térmico de la masa en la edificación) para enfriar el interior del edificio, en el período en el que el sumidero de calor no está presente.



Figura 6.- Elementos de un Sistema Pasivo de Enfriamiento (Morillón, 2002).

Un enfriamiento pasivo funciona de tal modo que evita que los rayos solares se acumulen y tampoco permite que la radiación solar penetre en la masa térmica, Lacombe (1991), comenta que en México unos de los problemas más difíciles que enfrentan los arquitectos e ingenieros son las altas temperaturas encontradas en zonas extensas, las cuáles provocan pérdida de bienestar para el usuario de la arquitectura.



Morillón (2002), comenta que el enfriamiento involucra la descarga de energía por acoplamiento selectivo del sistema, con las partes más frías del medio ambiente, buscando que ese flujo de energía se dé por mecanismos naturales. Los posibles enfriadores o sumideros de calor del ambiente son: el cielo, la atmósfera y el suelo.

En el enfriamiento al cielo, la radiación del sistema pasa a través de la atmósfera y se disipa al espacio exterior. El límite primario para este tipo de enfriamiento lo fija la ganancia de calor convectiva y radiativa proveniente de la atmósfera circunvecina. La energía del sistema puede también ser descargada a la atmósfera durante aquellos momentos cuando las condiciones del ambiente son favorables para tal intercambio. El calor puede ser disipado por una elevación de la energía de calor sensible del aire circunvecino (por ejemplo el aire frío de la noche). La transferencia de energía al aire puede ser mejorada por el movimiento del aire.

5.1.3.- Clasificación de los procesos de enfriamiento.

Para enfriar una construcción por medio de sistemas pasivos, se puede usar el método antes mencionado así como seleccionar los materiales adecuados de baja resistividad térmica, para evitar que los rayos solares pasen al interior y calienten el espacio arquitectónico. Esto se puede lograr en climas cálido-húmedo, específicamente en la ciudad de Cunduacán, donde se realiza el experimento (Morillón, 2002), a continuación se da una clasificación de los procesos de enfriamiento directo, indirecto o aislado:

- **Enfriamiento directo:** Ocurre cuando las superficies y el contenido del espacio están expuestos directamente al (los) medio(s) de enfriamiento del ambiente (sumideros).
- **Enfriamiento indirecto:** Ocurre cuando el espacio es enfriado por transferencia de calor hacia una superficie, que a su vez, esté siendo enfriada directamente por exposición al (los) sumidero(s) de energía del ambiente, o que ha sido enfriada en otro momento, pero su capacidad de almacenamiento térmico, le permite seguir enfriando el espacio.
- **Enfriamiento aislado:** Ocurre cuando el espacio es enfriado por un fluido que controla la transferencia de calor entre la superficie enfriada por él (los) sumidero(s) de calor, o el almacén térmico, que ha sido enfriado en otro momento por intercambio con la superficie enfriada por el ambiente.

Una muestra representativa de las combinaciones de los sumideros de energía térmica del medio ambiente y mecánico para transferir energía del espacio ocupado. Estas combinaciones de ningún modo agotan la lista de posibilidades. Se debe prestar interés en los sistemas cuyos elementos puedan servir tanto al



calentamiento como al enfriamiento. Generalmente, un almacén de calor sirve para fines de calentamiento o enfriamiento

Atendiendo a esto se hace la siguiente observación, el experimento busca obtener un Control térmico en base a tener presente la necesidad de enfriamiento y un Control Solar a través de la protección dada por el sistema multicapa y los materiales que lo componen. El proceso seleccionado para el experimento fue el Enfriamiento indirecto, debido a la transferencia de calor que se originara en la interacción de los materiales que componen el sistema multicapa.

5.2.- El confort térmico en la edificación.

El medio ambiente físico está formado por numerosos elementos relacionados entre sí, incorporados a ellos se encuentra dos muy importantes que son el clima y el espacio. Inciden directamente en el cuerpo humano, el cual puede absorberlos o intentar contrarrestar sus efectos, para conseguir un equilibrio biológico se producen diversas reacciones físicas y psicológicas. El hombre se esfuerza para llegar al punto de adaptación a su entorno, requiriéndolo solamente un mínimo de energía. Esas condiciones para conseguir su objetivo se denomina "Zona de Confort" dónde la mayor parte de la energía humana se libera para dedicarse a la productividad (Olgay, 1998).

Algunos escritores consideran que el límite superior de temperatura que puede resistir el hombre se da en el punto de insolación debido a la radiación solar y que el límite mínimo es el punto de congelación. La temperatura ideal del aire se supone a mitad de camino de estos dos extremos. Algunos estudiosos afirman que el hombre con una temperatura corporal media de 37° C, al buscar condiciones térmicas favorables escoge intuitivamente aquellas áreas en las cuales la temperatura se encuentra entre el frío que puede tolerar y el punto que le permita adaptarse al calor sin que sus sistemas circulatorios y de secreción tengan que realizar un esfuerzo excesivo.

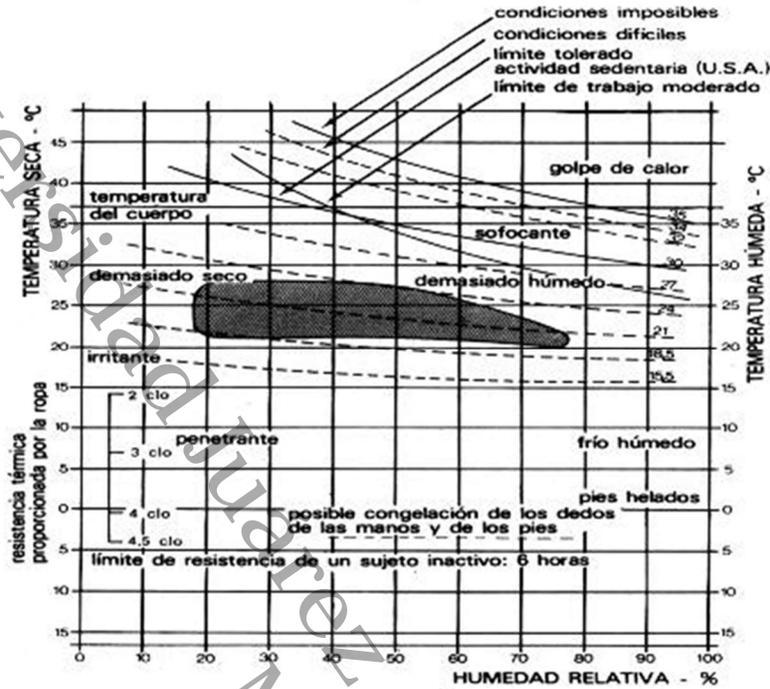


Figura 7.- Zona de Confort de Olgay, calificación de los ambientes fuera de la zona y efectos de los ambientes no confortables para el cuerpo, y límites de las condiciones de calor en función de la actividad. (Lacombe, 1991).

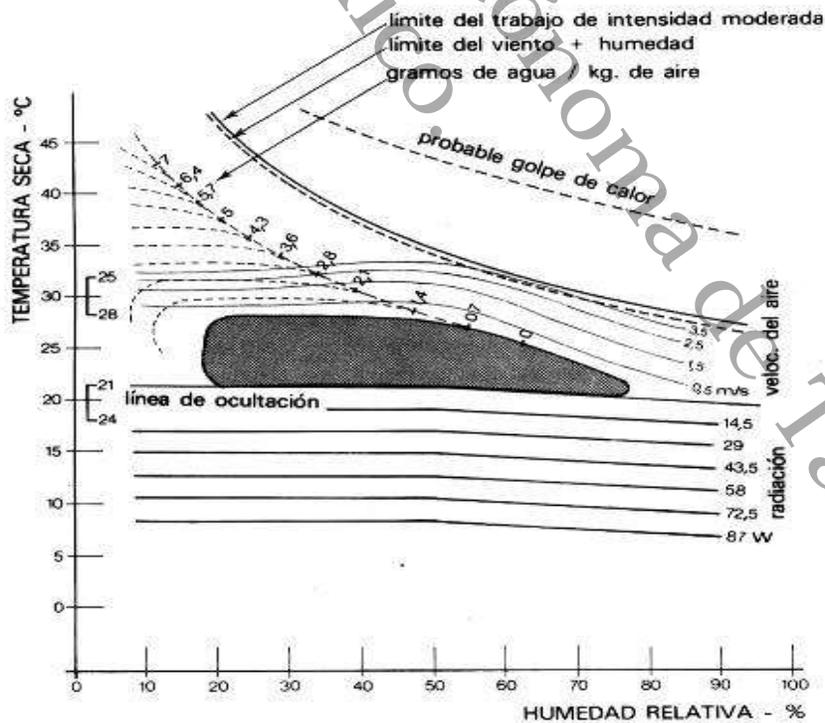


Figura 8.- Carta bioclimática de Olgay (Lacombe, 1991).



Los efectos de los elementos climáticos pueden, a partir de estudios agruparse y expresarse en una gráfica, ésta muestra la zona de confort en el centro. Los elementos climáticos alrededor están representados por curvas, lo cual indica la naturaleza de las medidas correctivas necesarias para recuperar la sensación de confort en cualquier punto fuera de la zona. La edificación es el principal instrumento que nos permite satisfacer las exigencias de confort adecuados, modifica el entorno natural y nos aproxima a las condiciones óptimas de adaptabilidad. Debe filtrar absorber o repeler los elementos medios ambientales según influyan beneficiosa o negativamente en el confort del ser humano. El criterio ideal para el diseño de un hábitat en equilibrio respecto a su medio ambiente sería el que cubriera satisfactoriamente todas las necesidades fisiológicas humanas (Rodríguez, 1998).

Siendo la sensación de un equilibrio térmico algo sumamente importante para el ser humano y sin la cual sería imposible la definición de confort. Los elementos principales que afectan al confort humano son la temperatura del aire, radiación solar, movimiento del aire y la humedad, aunque existen otros solo nos avocaremos a estos. Estos factores actúan sobre el hombre según una compleja interrelación que puede ser interpretada en una escala calorimétrica desarrollada por Winslow, Herringto y Cagge. Para entender mejor el concepto de confort, primero se atenderá la definición de Goffin (1984), del Medio Ambiente como el sistema dinámico específico por las interrelaciones físicas, biológicas y culturales, percibidas o no, entre el hombre y los seres vivientes y todos los elementos del medio, ya sean naturales, transformados o creados por el hombre en un lugar y tiempo determinados, El hombre está interactuando en todo momento con el medio ambiente, tanto con el natural, como con el social y el artificial; el medio ambiente determina su comportamiento físico y psicológico, es un factor determinante de la salud, bienestar y confort del individuo.

El término confort, es de hecho un galicismo, que puede ser substituido por el de bienestar, aunque éste parece ser más amplio y relacionado directamente con la salud. La Organización Mundial de la Salud define a la salud como “el estado de completo bienestar físico, mental y social del individuo y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades. Por otro lado entendemos por Confort al estado físico y mental en el cual el hombre expresa satisfacción (bienestar) con el medio ambiente circundante. Como se puede apreciar no existe diferencia significativa entre las dos definiciones, sin embargo conceptualmente la primera se refiere a un estado temporal más amplio (aunque no permanente) y además abarcando aspectos que no son considerados por el segundo (Fuentes, 2017).

El confort se refiere de manera más puntual a un estado de percepción ambiental momentáneo (casi instantáneo), el cuál ciertamente está determinado por el estado de salud del individuo, pero además por muchos otros factores, los cuales se pueden dividir en forma genérica en dos grupos: Factores internos: Raza, sexo, edad, características físicas y biológicas, salud física o mental, estado de ánimo, grado de actividad metabólica, experiencia y asociación de ideas, etc. Factores



externos: Grado de arropamiento, tipo y color de la vestimenta, factores ambientales como temperatura del aire, temperatura radiante, humedad del aire, radiación, velocidad del viento, niveles lumínicos, niveles acústicos, calidad del aire, olores, ruidos, elementos visuales, etc. Es decir que el confort ambiental define sólo a aquellos factores ambientales naturales o artificiales que determinan un estado de satisfacción o bienestar físico o psicológico. Si bien el confort se obtiene a través de la integración de todos los factores, con fines prácticos se divide en varios tipos de acuerdo al canal de percepción sensorial que se involucra; de tal forma se cuenta con los siguientes tipos de confort: Confort Térmico, Confort Lumínico, Confort Acústico, Confort Olfativo, Confort Psicológico.

Confort Térmico

Se refiere a la percepción del medio ambiente circundante que se da principalmente a través de la piel, aunque en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente los pulmones intervienen de manera importante. Para comprender el comportamiento térmico del cuerpo humano ante los factores ambientales es necesario conocer algunos aspectos fisiológicos. El cuerpo humano es un organismo sumamente complejo que tiene que desarrollar múltiples funciones para mantener su equilibrio e interactúa adecuadamente con su entorno. El hombre debe mantener constante su temperatura corporal (entre 36.5 °C y 37.5 °C) bajo cualquier condición climática. (Fuentes, 2017).

La temperatura del aire es uno de los factores más importantes ya que entre mayor sea la diferencia entre la temperatura del aire y la del cuerpo, mayor será el flujo de calor. La temperatura del aire óptima en la cual el cuerpo disipa adecuadamente el calor generado depende de varios factores, entre ellos la aclimatación del individuo, juega un papel importante, ya que, por ejemplo, una persona acostumbrada a vivir en un clima frío soporta temperaturas más bajas que otra que no lo está. Esta temperatura óptima (la cuál es llamada comúnmente «temperatura neutra» representa un punto en la escala térmica, por ello es más conveniente hablar de un rango de temperatura en el cual el individuo expresa satisfacción (térmica) con el ambiente. El rango de confort térmico ha sido definido de distinta manera por varios autores. Los estudios más actuales a éste respecto son los de S. Szokolay y Auliciems, a través de los cuales se ha elaborado una tabla, en donde se definen los rangos de confort térmico para varias ciudades de la República Mexicana.

Tabla 4.- Aplicando la fórmula de Auliciems.

$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$	(4)
$Z_c = T_n \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$	(5)
Dónde:	
T _n = Temperatura Neutra	
T _m = Temperatura media anual o mensual	
Z _c = Zona de Confort	



Tabla 5.- Rangos de Confort ciudades de la República Mexicana (Fuentes, 2017).

Ciudad	Rango		
	Min	Tn	Max
Toluca, México	18.9°	21.4°	23.9°
La Bufa Zacatecas	19.3°	21.8°	24.3°
Ciudad de México (Tacubaya)	19.8°	22.3°	24.8°
Puebla, Puebla	20.2°	22.7°	25.2°
Chihuahua, Chihuahua	20.8°	23.3°	25.8°
Guadalajara, Jalisco	21.0°	23.5°	26.0°
Cuernavaca, Morelos	21.6°	24.1°	26.6°
Monterrey, Nuevo León	21.9°	24.4°	26.9°
Hermosillo, Sonora	22.6°	25.1°	27.6°
Veracruz, Veracruz	22.9°	25.4°	27.9°
Villahermosa, Tabasco	23.6°	26.1°	28.6°

La Temperatura radiante (Radiación).

Junto con la temperatura, la radiación afecta enormemente la sensación térmica del organismo, incluso algunos estudios recientes indica que la temperatura radiante es más significativa que la temperatura del aire. Esto es fácil de entender si imaginamos estar en un ambiente con aire frío y expuesto a la radiación del sol o a la emitida por una chimenea o fogata.

La Humedad del aire.

A pesar que la humedad tiene pocos efectos en la sensación de confort térmico, sí juega un papel importante en los mecanismos de intercambio térmico del cuerpo, tanto en la sudoración como en la evaporación e intercambio térmico pulmonar (evotranspiración).

Movimiento del aire.

El movimiento del aire también tiene efectos térmicos en el individuo, aún sin cambiar su temperatura, ya que a través del movimiento del aire se incrementa la disipación de calor del organismo de dos maneras: incrementando las pérdidas convectivas de calor y acelerando la evaporación. El movimiento del aire también tiene efectos no térmicos (mecánicos) en la sensación de confort. Algunas reacciones subjetivas para varias velocidades del aire son las siguientes:

Tabla 6.- Sensaciones subjetivas relacionadas con la velocidad del viento (Fuentes, 2017).

Rango de velocidad			Sensación
Menor a	0.25	m/s	Imperceptible
De	0.25 a 0.50	m/s	Agradable
De	0.50 a 1.00	m/s	Perceptible
De	1.00 a 1.50	m/s	Desagradable
Mayor a	1.50	m/s	Muy molesto



La falta de condiciones térmicas adecuadas provoca trastornos psicológicos, cuyos efectos pueden ir desde los temporales de poca significación hasta los graves que pueden dañar seriamente al organismo e incluso provocar la muerte. Las principales alteraciones se presentan en el aparato circulatorio y en los demás órganos que intervienen directamente en el intercambio de calor. Bajo condiciones de alta temperatura la presión arterial aumenta así como el ritmo cardíaco y respiratorio; los vasos sanguíneos se dilatan se incrementa la evotranspiración, aumentando la demanda de oxígeno e ingestión de líquidos además de otros efectos secundarios. A bajas temperaturas los efectos se invierten, la presión arterial disminuye al mismo tiempo que el ritmo cardíaco y respiratorio, los vasos sanguíneos se contraen disminuyendo la actividad general de todos los órganos. La falta de humedad o exceso de ella provoca alteraciones en el intercambio energético normal de los pulmones, interfiere con la capacidad evaporativa de la piel y provoca cambios en la fauna normal de la piel, lo cual aunado con la contaminación física, química y biológica del aire puede provocar enfermedades de las vías respiratorias o en la superficie cutánea o subcutánea.

5.3.- Transferencia de calor como mecanismo de enfriamiento relacionados con el sistema multicapa propuesto.

La arquitectura y la energía están estrechamente vinculadas, una de las principales funciones de nuestras edificaciones es mantener en su interior una temperatura del aire distinta a la temperatura del ambiente exterior. Para esto es necesario evitar, o al menos reducir, la transmisión del calor por la envolvente del edificio. La ciencia de la transferencia de calor, busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura. La termodinámica enseña que esta transferencia de energía se define como calor, (Holman, 1999). Los medios a través de los cuales un espacio arquitectónico intercambia calor con su entorno pueden clasificarse en los siguientes procesos: Convección, Radiación y Conducción.

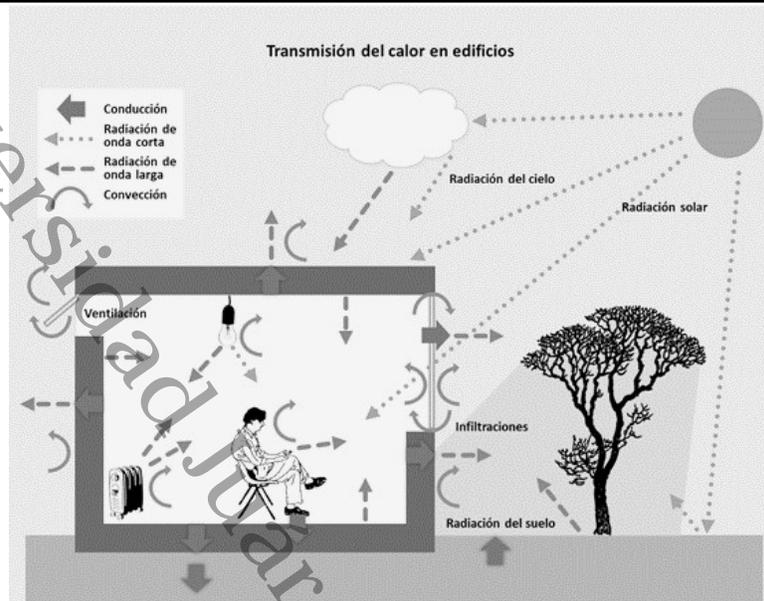


Figura 9.- Transferencia de calor en los edificios. <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/la-transmision-del-calor/>

5.3.1.- Convección.

La convección se refiere a transferencia de calor por medio del movimiento del flujo de un gas o líquido (en éste caso el aire), entre zonas con diferentes temperaturas y consecuentemente un gradiente de densidad. Implica la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías. Se incluye también el intercambio de energía entre una superficie sólida y un fluido. El calor se transfiere mediante el movimiento de masas, en vez de ir pasando a través de las moléculas vecinas. La convección se ha definido como el proceso por el que el calor es transferido por medio del movimiento real de la masa de un medio material. Si el movimiento de un fluido es causado por una diferencia de densidad originada por un cambio de temperatura, la corriente producida se conoce como convección natural.

5.3.1.1- Transferencia de calor por convección.

En los edificios encontramos, dondequiera que miremos, constantes procesos de transmisión de calor: Tanto las ganancias solares como las ganancias internas son básicamente radiaciones de calor. Las convecciones más importantes en el balance térmico de los edificios son las pérdidas (o ganancias) por ventilación y por infiltraciones. Serra y Coach (1995), comenta que el acondicionamiento térmico de los edificios se basa en la radiación y en la convección, cuando el aire de un ambiente se pone en contacto con la superficie de un cerramiento a una temperatura distinta, el proceso resultante de intercambio de calor se denomina transmisión de calor por convección. Este proceso es una experiencia común, pero una descripción detallada del mecanismo es complicada dado que además de la conducción hay que considerar el movimiento del aire en zonas próximas a la superficie.



En el caso que la fuerza motriz que mueve el aire proceda exclusivamente de la diferencia de densidad en el aire que resulta del contacto con la superficie a diferente temperatura y que da lugar a fuerzas ascensionales se producirá el proceso de transmisión denominado convección libre o natural. Cuando exista una fuerza motriz exterior, como el viento, que mueva al aire sobre una superficie a diferente temperatura se producirá una convección forzada, que debido al incremento de la velocidad del aire se transmitirá una mayor cantidad de calor que en la convección libre para una determinada diferencia de temperatura. En el caso que se superpongan ambas fuerzas motrices, por ser de magnitudes semejantes, el proceso se denomina convección mixta. En cualquiera de los casos el fenómeno se puede evaluar mediante la Ley de Newton del enfriamiento.

5.3.2.- Radiación.

La radiación es la emisión de energía desde la superficie de un cuerpo. La experimentamos al exponernos a la radiación solar, y nos damos cuenta que el calor de radiación es independiente de la temperatura del aire. La radiación de calor es parte de las ondas electromagnéticas. Por lo general, la energía es transportada por ondas infrarrojas. La radiación térmica es la única forma de transmisión del calor que puede penetrar el vacío (Holman, 1999).

5.3.2.1.- Transferencia de calor por radiación.

El calor también se puede transferir a regiones donde existe el vacío perfecto. En este caso, el mecanismo es la radiación electromagnética. Limitaremos nuestro estudio a la radiación electromagnética que es propagada como resultado de una diferencia de temperaturas; a esto se le llama radiación térmica.

(Olgay, 1998) Generalmente, la transferencia de radiación calorífica que afecta a la edificación se divide en 5 tipos diferentes.

- Radiación de Onda Corta directa del sol.
- Radiación difusa de onda corta procedente de la bóveda celeste.
- Radiación de onda corta producto de la reflexión en los terrenos adyacentes.
- Radiación de onda larga procedente del suelo y de los objetos cercanos cuya temperatura es elevada.
- Radiación de onda larga expelida en intercambio desde el edificio hacia el cielo.

Radiación producida por la reflexión en los terrenos adyacentes. La energía solar que incide sobre una superficie horizontal en tiempo caluroso es aproximadamente el doble de la que cae en una vertical, así las superficies horizontales que rodean los edificios reflejan una importante cantidad del calor que sobre ellos inciden. Este flujo de calor puede constituir un valor considerable, la cantidad depende de la exposición y reflectividad del terreno inmediato. La radiación de onda larga procedentes de suelos con temperatura elevada. El suelo y los objetos calefactados por la radiación solar que se encuentran cerca de las edificaciones pueden producir un sustancial aumento de temperatura. Es difícil determinar este impacto indirecto,



ya que no depende solamente del material con que este realizado el edificio, sino también de los intercambios de radiación, que se modifican según varían las diferencias de temperatura entre los diferentes elementos. Radiación de onda larga expelida. El equilibrio calorífico terrestre implica que el promedio anual de radiación expelida desde la tierra hacia la atmósfera debe estar equilibrada con la cantidad de radiación solar expelida y ésta no siempre es uniforme ya que varía con las estaciones. R. Geiger afirma que asumiendo un cielo despejado, la radiación expelida efectiva es inversamente proporcional a la humedad relativa, en condiciones de días nublados, el retorno de la radiación reflejada en las nubes aumenta y la expulsada hacia la atmósfera disminuye. La tabla adjunta indica los porcentajes de reflexión de varios tipos de superficies, (Olgay, 1998).

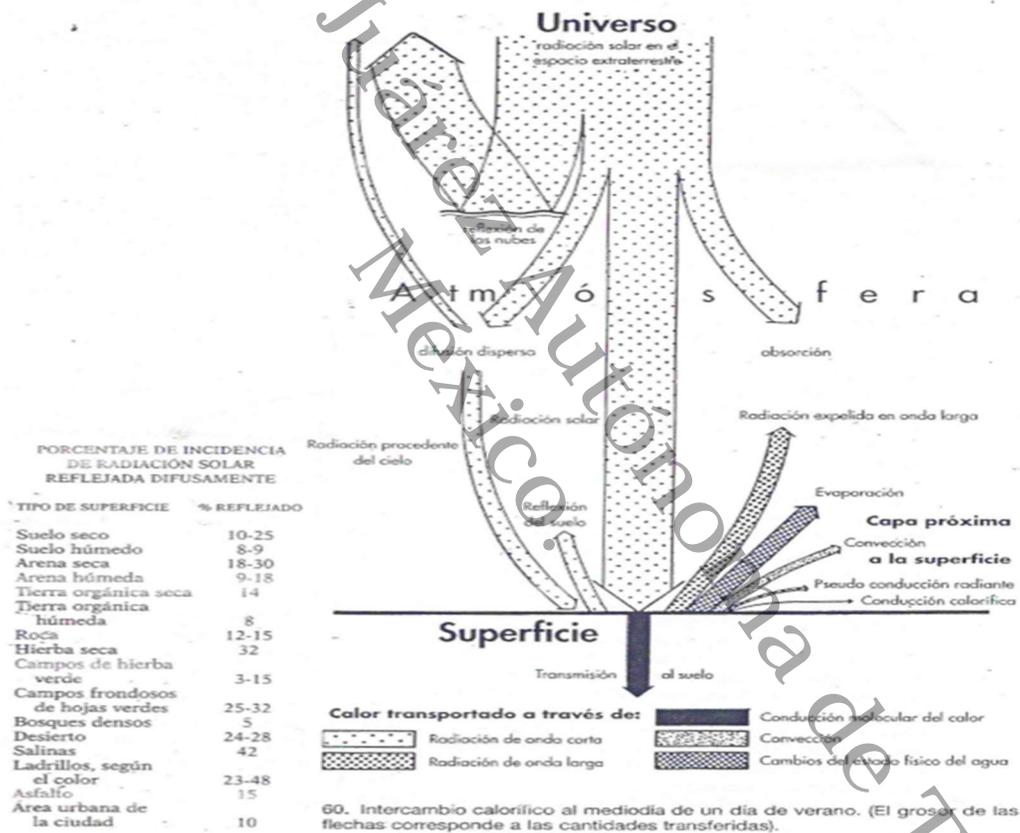


Figura 10.- Intercambio calorífico al medio día en verano (Olgay, 1998)

5.3.3.-Conducción.

Consideraremos que hay propagación de calor siempre que exista una transferencia de energía entre dos cuerpos a diferente temperatura, que tenderá a igualar estas temperaturas al transferirse en el sentido del caliente al más frío. Propiamente, sólo se debería considerar como propagación de calor la conducción, que se da cuando la energía calorífica (o sea el grado de agitación molecular), se propaga de molécula a molécula en un cuerpo. La velocidad de propagación es variable según la



conductibilidad calorífica del material, pero, en el caso de materiales utilizados en la construcción, acostumbra a ser muy lenta comparada con las otras formas de propagación de la energía. Serra y Coach (1995).

5.3.3.1.-Transferencia de calor por conducción.

La experiencia ha demostrado que cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. Decimos que la energía es transferida por conducción y que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura:

Tabla 7.- Ley de conducción de calor de Fourier.

Ley de conducción de calor de Fourier	
$\frac{q}{A} = -k \frac{\delta T}{\delta x}$	(5)
Cuando se inserta la constante de proporcionalidad	
$q = -kA \frac{\delta T}{\delta x}$	(6)
Donde:	
q es	Rapidez de transferencia de calor
$\delta T/\delta x$	Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor
K	Conductividad térmica del material, y el signo (-) se inserta para que satisfaga el segundo principio de la termodinámica, es decir el calor deberá fluir hacia abajo en la escala de temperatura.

Es la igualdad que define la conductividad térmica y que en un sistema de unidades típico en el que el flujo de calor es expresado en watts, k tiene las unidades de watts por metro por grado Celsius. No obstante, si la temperatura del sólido está cambiando con el tiempo, o si hay fuentes de calor o sumideros dentro del sólido, la situación es más compleja. Consideramos el caso general en el que la temperatura puede estar cambiando con el tiempo y dentro del cuerpo puede haber fuentes de calor. (Holman, 1999).

5.4.- Efectos térmicos de los materiales.

(Olgay, 1998). Todos los impactos caloríficos externos deben traspasar la piel externa del edificio antes de afectar las condiciones de la temperatura interior. La forma en la que el calor penetra los materiales de un techo puede compararse con la forma como un material poroso absorbe la humedad, las sucesivas capas de la cubierta se saturaran del calor hasta que finalmente, el efecto es perceptible en la superficie interior. Las cargas de temperatura diaria, cuyas fluctuaciones son más o menos sinusoidales, se retardan y experimentan distorsiones en su amplitud al filtrarse a través de los elementos constituyentes de la cubierta, estas dos funciones, propias del material. Las fuerzas térmicas que actúan en el exterior de una edificación son una combinación de los impactos por convección y radiación. La radiación total está compuesta por la radiación solar incidente y por el intercambio



de calor con la temperatura del aire del entorno y con el cielo. El impacto calorífico por convección se encuentra en función del intercambio con la temperatura del aire circundante y puede acelerarse a través del movimiento del aire.

5.4.1.- Transmisión calorífica de los materiales.

La característica más importante para el control térmico de los materiales es su comportamiento desde el punto de vista de la transmisión. La variación diaria de la carga calorífica origina su correspondiente oscilación en el interior de la estructura pero con dos diferencias:

- El ciclo interno se amortiguará, es decir las variaciones serán más pequeñas (la amplitud de sus movimientos disminuirá).
- El ciclo interno sucederá al externo, es decir ambos ciclos estarán desfasados.

El primer efecto dependerá del valor aislante del material caracterizado como factor "U" (coeficiente de transmisión total del calor expresado en kcal/h/m², a menor valor de U, mejor efecto aislante. Esta interferencia en el paso del calor se conoce generalmente como "aislamiento resistente". El segundo efecto depende de la capacidad acumulativa calorífica del material, caracterizado por el valor volumétrico específico (p x c, densidad por calor específico). A mayor capacidad acumulativa, menor variación de temperatura propagada a través del material. El retardo producido por ésta transmisión se conoce como inercia térmica. Ambas características se encuentran presentes en los materiales, con diferente intensidad dependiendo de su difusión térmica, se puede definir de acuerdo a la siguiente ecuación:

Tabla 8.- Ecuación de difusividad térmica.

Ecuación de Difusividad Térmica	
$D = k / p c \text{ (m}^2\text{/h)}$	(7)
Donde:	
D	Difusividad térmica
k	Conductividad térmica
p	Densidad (kg/cm ³)
c	Calor específico (kcal/kg °C)

El aire estático es uno de los mejores elementos aislantes., aquellos materiales que contienen burbujas de aire atrapado en su interior tienen un índice de transmisión más bajo y son generalmente más livianos por ello en el diseño, la utilización apropiada de aislamiento son muy importantes para conseguir el equilibrio calorífico del interior (Olgyay, 1998).



6.- OBJETIVOS

6.1.- Objetivo General.

Diseñar y evaluar una cubierta de un sistema multicapa para disminuir ganancias de calor al interior de la edificación y alcanzar niveles de confort térmico en un prototipo experimental.

6.2.- Objetivos Específicos.

- Diseñar y construir un prototipo del sistema de cubierta multicapa utilizando mortero, fibra vegetal y poliestireno, que cumpla con criterios de diseño y construcción de la norma NMX-020-ENER-2011.
- Instalar y evaluar el prototipo experimental de cubierta sobre una losa del sistema CONVINTEC, monitoreando parámetros de temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento.
- Determinar y comparar en base a las condiciones térmicas evaluadas el acercamiento a la zona de confort establecido en la norma NOM-020-ENER-2011.
- Analizar la carga del peso estructural del sistema de cubierta sobre la losa COVINTEC.
- Analizar el costo de implementación del sistema de cubierta contra otros sistemas comerciales.



7.- ÁREA DE ESTUDIO.

El lugar de estudio de ésta investigación es el municipio de Cunduacán, del estado de Tabasco. Localizado en la región de la Chontalpa, ubicada entre los paralelos 18°03' de latitud norte y 93° 10' de longitud oeste. Colinda al Norte con los municipios de Comalcalco y Jalpa de Méndez, al Sur con el municipio de Centro y el estado de Chiapas, al Este con los municipios de Nacajuca y Centro y al Oeste con el municipio de Cárdenas. Su Orografía se caracteriza por una conformación plana, siendo la mayor elevación de 40 msnm. La altura de la cabecera municipal es de 10 msnm.

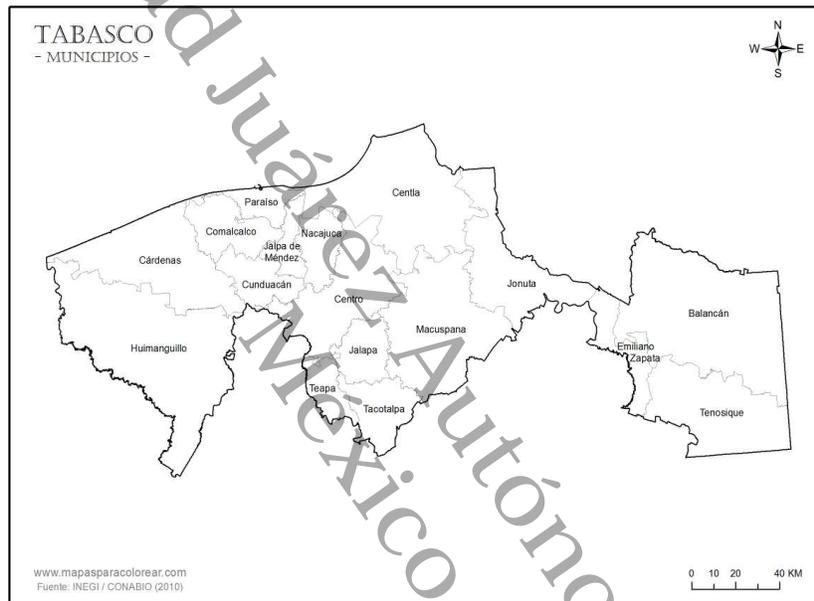


Figura 11.- Mapa del Estado de Tabasco con División Política fuente: INEGI / CONABIO (2016)

Su extensión es de 623,9 km², los cuales corresponden al 2,54% del total del estado; esto coloca al municipio en el duodécimo lugar en extensión territorial. Colinda al norte con los municipios de Comalcalco y Jalpa de Méndez, al este limita con los municipios de Nacajuca y Centro, al sur con el municipio de Centro y el estado de Chiapas, y al oeste con el municipio de Cárdenas.

El sitio donde se construirán los 2 módulos es en la División Administrativa de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicada Carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1. Col. La Esmeralda CP. 86690, en el entronque carretero federal 180 Cunduacán (vía corta) esq. con ave. Universidad de éste municipio.

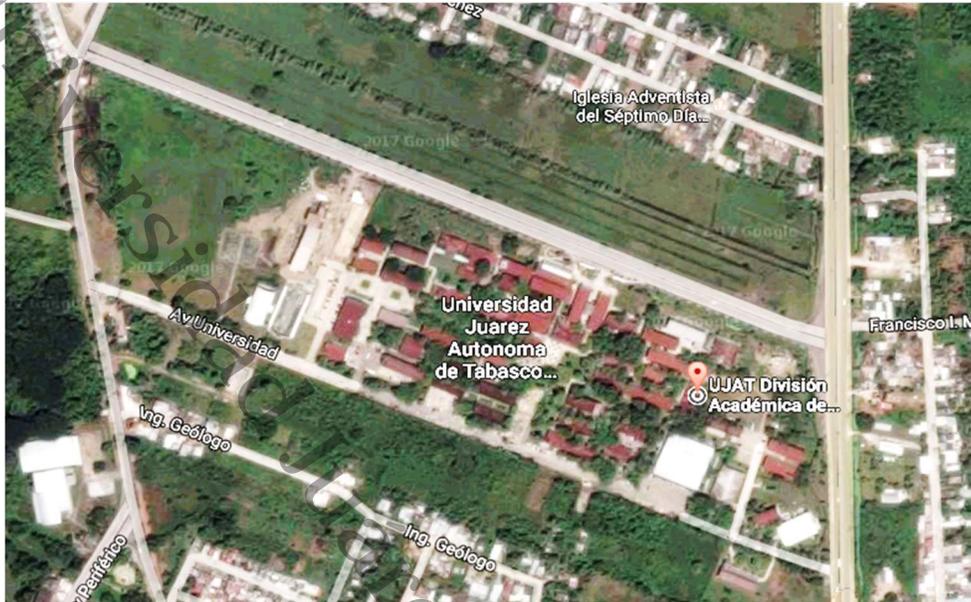


Figura 12.- Vista aérea de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco División Académica de Ingeniería y Arquitectura (D.A.I.A.) fuente: Google Earth.

7.1.- Clima.

Su clima es cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano, régimen normal de calor con cambios térmicos en los meses de diciembre y enero; se aprecia una temperatura media anual de 26.2°C, siendo la máxima media mensual en mayo con 30.5°C, y la mínima media mensual en diciembre y enero con 22.5°C en base a datos proporcionados por la Organización mundial de datos climáticos. (O.M.D.C.), por sus siglas en inglés.

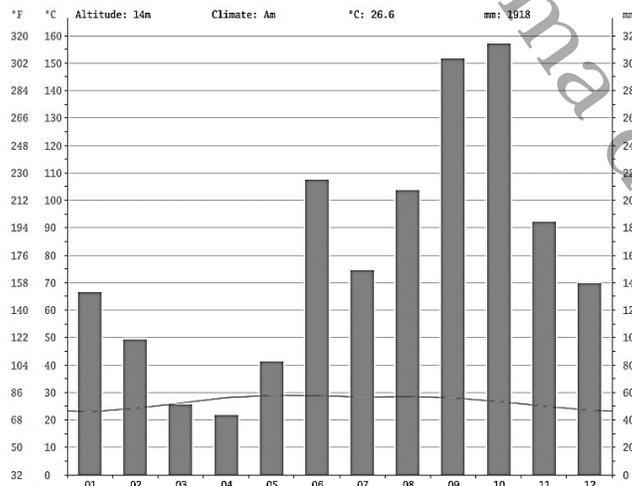


Figura 13.- Climograma de Cunduacán. Fuente: <https://es.climate-data.org/location/44953/> de Google.

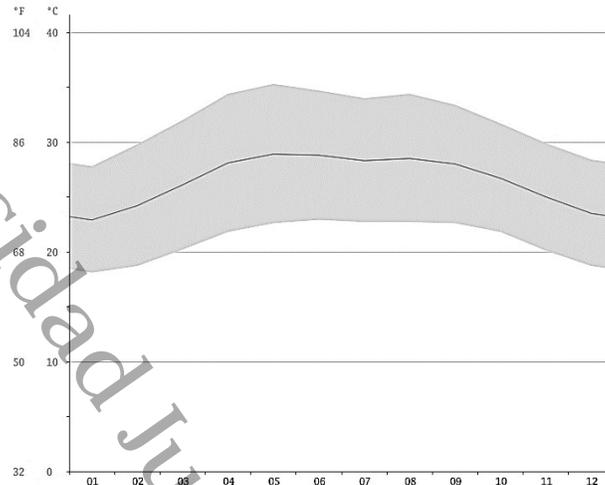


Figura 14.- Diagrama de Temperatura de Cunduacán Fuente: <https://es.climate-data.org/location/44953/> de Google.

A lo largo del año, las temperaturas varían en 6.0 ° C. Sugerencias útiles sobre la lectura de la tabla climática: Para cada mes, encontrará datos sobre precipitación (mm), temperatura media, máxima y mínima (grados Celsius y Fahrenheit). Significado de la primera línea: (1) Enero, (2) Febrero, (3) Marzo, (4) Abril, (5) Mayo, (6) Junio, (7) Julio, (8) Agosto, (9) Septiembre, (10) Octubre, (11) Noviembre, (12) Diciembre.

Tabla 9.- Tabla Climática, Datos históricos del tiempo en Cunduacán.

Meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
°C	22.9	24.2	26.1	28.1	28.9	28.8	28.3	28.5	28.0	26.7	25.0	23.5
°C(min)	18.1	18.7	20.2	21.8	22.6	22.9	22.7	22.7	22.6	21.8	20.1	18.7
°C(max)	27.8	28.8	32.0	34.4	35.3	34.7	34.0	34.4	33.4	31.7	29.9	28.4

7.2.- Precipitación Pluvial.

El régimen de precipitaciones se caracteriza por un total de caída de agua de 1947 mm anuales con un promedio máximo mensual de 327 mm en el mes de septiembre y una mínima mensual de 6 mm en el mes de abril. La precipitación varía 271 mm entre el mes más seco y el mes más húmedo.

7.3.- Velocidad Del Viento.

Las mayores velocidades del viento se concentran en los meses de noviembre y diciembre con velocidades que alcanzan los 30 km/h. presentándose en el mes de junio los menores con velocidades de 18km/h.



8.- MATERIALES, HERRAMIENTAS, EQUIPOS Y MÉTODOS.

8.1.- Materiales y herramientas.

En la construcción de los módulos que se instalaron en la División Administrativa de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, fueron precisos el empleo de algunos materiales y herramienta manual tales como:

Tabla 10.- Materiales utilizados en la construcción de módulos.

Construcción de Módulos	
Hilo	Madera para cimbra
Cal	Clavo
Estacas de madera	Varilla de 3/8"
Pico y palas	Cizalla y gancho
Botes	Alambre recocado
Carretilla	Block de 10x20x40
Cemento	Perfil de aluminio
Arena	Clavo
Grava de 3/4"	Varilla de 3/8"
Agua	Estructura tridimensional de alambre de acero al bajo carbono cal.14, con alma de poliestireno expandido de 2" de espesor, (losa de los módulos)
Flexómetro	Malla plana de 8"
Pinza	Polines de madera de 10x10 cm
Cuchara	Nivel de mano

En el diseño y construcción del sistema multicapa propuesto en la división Chontalpa se requirió materiales específicos y herramientas para su debida instalación tales como:

Tabla 11.- Materiales utilizados en la construcción del sistema multicapas.

Construcción Del Sistema Multicapa	
Block de 10x20x40 cms.	Vela
Cemento	encendedor
Arena	Pala
Agua	Cuchara
Poliestireno fragmentado	Esmeriladora
Viruta de madera de pino	Flexómetro
Bolsas de plástico	cubeta
Perfil de aluminio	Llana plana
Caja para filtrar arena	Escalera

Para la instalación de los equipos que servirán para la medición y monitoreo de las variables climáticas en ambos módulos se requirió lo siguiente:



Tabla 12.- Equipos utilizados en el monitoreo de las variables ambientales.

Equipos De Medición y Monitoreo	
Data Logger (2 equipos)	Incluye: Sensores para toma de temperaturas en las superficies de la cara interior y exterior de la losa y el sistema multicapa. Humedad relativa En ambos módulos 1 y 2.
Microestación (2 equipos)	Incluye: Sensores para temperatura ambiental y humedad relativa. En ambos módulos 1 y 2. Sensor para toma de datos de la radiación solar, (piranómetro). En el módulo 2 donde se encuentra el sistema multicapa. Sensor para la medición de velocidad del aire (veleta). En el módulo 2 donde se encuentra el sistema multicapa.
Martillo	Nivel de mano
Madera de pino	Cable de interface para usb
clavo	Computadora
Flexómetro	Software: HOBOWare Pro

8.2.- Revisión Bibliográfica.

Se realizó la revisión bibliográfica de libros y artículos de fuentes nacionales e internacionales relacionados con el determinismo climático, análisis e interpretación de un diagrama bioclimático para determinar la zona de confort del ser humano (Huntinton 1951, Olgyay 1998, Baruch 1969). También se citaron algunos autores donde se revisaron bibliografías acerca del comportamiento de las temperaturas en interiores de edificaciones y acercamiento a la zona de confort del hombre, afectadas por la composición física química de los materiales con que fueron fabricadas las cubiertas y muros (Vecchia y Castañeda 2006, Peña et al 2009, Castañeda et al 2010, Mecott 2007, Rojas et al 2010, Salamanca 2011). También se mencionaron normatividades relacionadas con eficiencias energéticas en edificaciones no habitacionales y habitacionales a través de sus envolventes, en base a materiales que pueden aportar una eficiencia energética a las construcciones en relación a la materia prima que emplean para su elaboración y se analizó la tabla de zonas térmicas de la República Mexicana. Igualmente se encontró la determinación del valor de resistencia de la resistividad superficial interna y externa y de las resistividades térmicas de las varias capas de los diversos materiales que componen al elemento de la envolvente y como limitar ganancias de calor al interior de los espacios a través la piel del edificio, (NOM-008-ENER-2001, NMX-C-460-ONNCCE-2009 Y NOM-020-ENER-2001). Por otra parte se revisó la guía de usuario de los equipos Microestación y Data logger, para su debida colocación, calibración, monitoreo y descarga de datos de los equipos. Instalación y



comprobación del software HOBOWare Pro para la lectura y recolección de los datos. Para su construcción se tomaron los criterios del manual técnico de construcción (García, 2008) y el Manual Técnico de Covintec.

8.3.- Criterio de diseño y construcción de módulos y prototipo.

El experimento consiste en el análisis de dos módulos experimentales que se construirán en el municipio de Cunduacán, Tabasco, El estudio pretende hacer la observación y comparación de estos espacios (modulo 1 y 2), donde las condiciones de los alrededores así como la exposición al viento y radiación solar serán las mismas para ambos.

Serán orientados con su fachada hacia el norte, para reducir los flujos caloríficos y ayudar en su eficiencia al sistema propuesto. Estas condiciones minimizan la ganancia térmica, debido al ángulo de incidencia solar en las regiones tropicales, además favorecen la ventilación natural dentro del edificio.

Las dimensiones de ambos módulos serán las siguientes: 2.00 m. (N) en su fachada principal, 2.00 m. (S) en su fachada posterior, 2.00 m. (E y O) en sus fachadas laterales. x 2.55 m. de altura. Tamaño que tomamos como mínimo para suponer los resultados iguales a un prototipo de escala 1:1. La unidad experimental se desarrolló en base a los criterios de Panero y Zelnick (1996), que satisface los requerimientos mínimos de un espacio arquitectónico.

Las especificaciones técnicas de construcción para la elaboración de los prototipos serán las siguientes: Los muros en los modelos fabricados de block hueco de 10x20x40 cm. asentados con mortero cemento-arena proporción 1:4, el acabado final de los muros es a base de mortero cemento arena proporción 1:4. En el muro de la fachada principal de ambos elementos se propone una abertura de 0.90 x 2.32 de altura para captar corrientes de aire y lograr que se de en el interior de los módulos el fenómeno de convección y obtener pérdidas de calor de manera natural. (García, 2008)

El emboquillado en puerta es de 1.5 cm de espesor aproximadamente. El piso es un firme de 10 cm. de espesor hecho a base de concreto de $f'c= 100 \text{ kg/cm}^2$. En ambos módulos se proponen aleros del mismo material para sombrearlos y evitar una ganancia excesiva de calor por radiación solar, (García, 2005).



Figura 15.- Construcción de la unidad experimental.



Figura 16.- Preparación de las dos unidades experimentales, testigo COVINTEC y recubrimiento experimental.



Tabla 13.- Conductividad térmica de materiales del prototipo.

Conductividad térmica materiales del prototipo (Se emplean en la ecuación No. 8).		
Material	Conductividad Térmica k (w/hm ² °C)	
Panel "W"	0.040	Losa de modulo
Poliestireno	0.035	Materiales del sistema multicapa
Mortero	0.63	
Viruta	0.045	



Fuente: Datos de: Norma española NBE-CT-79 [Real Decreto 2.429/79, 1979]. Manual Técnico de COVINTEC, 2011.

8.4.- Colocación de instrumentos y adquisición de datos.

Como primer paso se coloca en cada uno de los módulos los instrumentos como lo indica la Guía del usuario, que tomarán los datos de las variables climatológicas que nos interesan para corroborar la hipótesis propuesta, y que son:

- Temperatura superficie exterior (mínima y máxima), para obtener posteriormente la temperatura media externa.
- Temperatura de la superficie interior. (mínima y máxima), para obtener posteriormente la temperatura media interna.
- Temperatura ambiental exterior e interior máxima y mínima para obtener después la temperatura media ambiental de ambas.
- Humedad relativa interior.
- Radiación al interior de los módulos.



- Velocidad y dirección del viento.

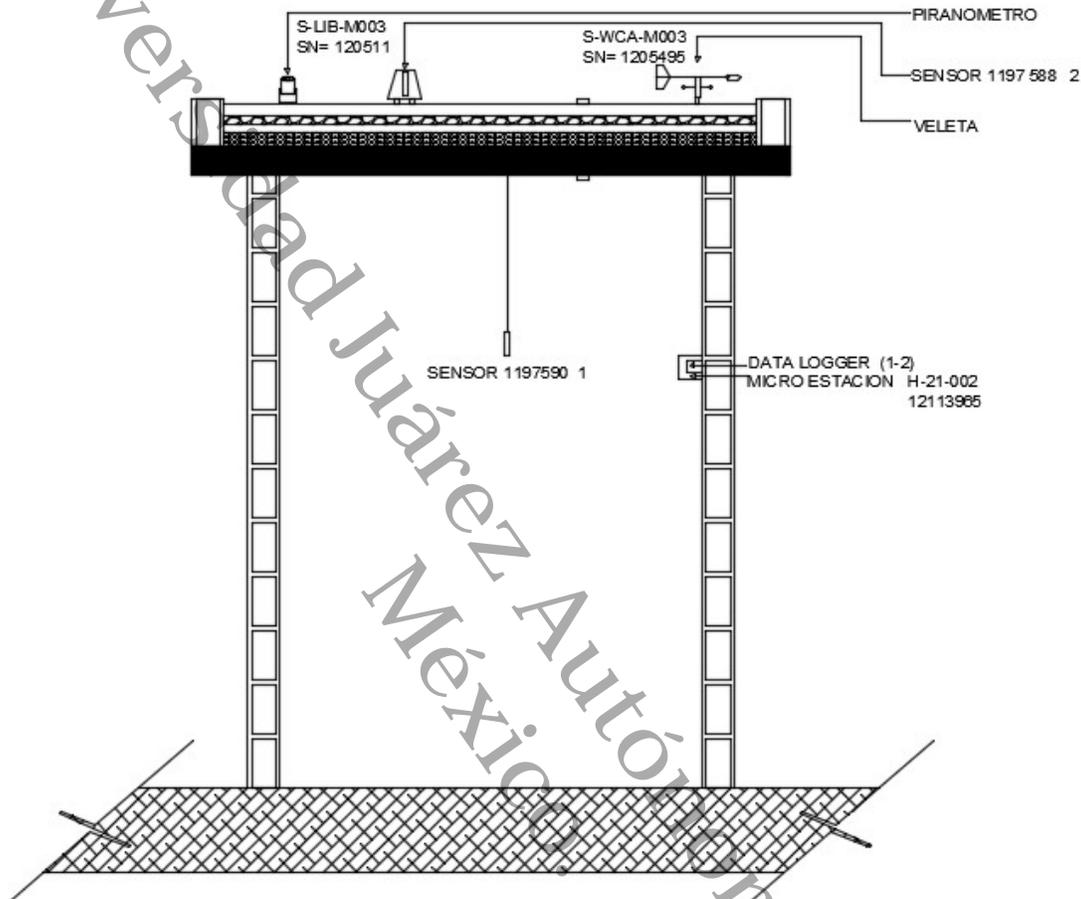


Figura 17.- Croquis de las unidades experimentales con equipos y sensores (módulo 1 y 2).

Se verifica en la guía de usuario la altura a la que deben ir los equipos, así como los sensores ambientales (1.80 m), sensor de las superficies interior y exterior, el piranómetro que debe estar nivelado a 90° en relación a la superficie horizontal de la losa, así como la veleta de viento que debe estar orientada hacia los vientos dominantes. Se realizará la calibración de los instrumentos de medición antes de su colocación bajo las condiciones que se especifican en los manuales de los equipos, esto se es con la finalidad de garantizar que cada uno de los equipos este midiendo de igual manera. Se coloca protección a los sensores de temperatura ambiental exteriores, para evitar que se afecten por el polvo y la lluvia.



Tabla 14.- Características de los equipos instalados en la unidades experimentales para monitoreo.

Módulo 1	Actividad
Data Logger Sensor: 1207591 Sensor: 1207593	Equipo dotado de dos salidas para los sensores de: Temperatura de la superficie interior. Temperatura de la superficie exterior (en losa COVINTEC)
Microestación Hobo 1213970 Sensor: 1197590 Sensor: 1197588	Este equipo está dotado de 2 canales de salida para los sensores que medirán: Temperaturas ambientales exterior e interior y humedad relativa.
Sensor piranómetro: 1205496	La radiación
Sensor veleta: 1205496	Velocidad del viento
Módulo 2	Actividad
Data Logger Sensor: 1207585 Sensor: 1207587	Equipo dotado de dos salidas para los sensores de: Temperatura de la superficie interior. Temperatura de la superficie exterior (en prototipo)
Microestación Hobo 12113965 Sensor: 1197593 Sensor: 1197582 Sensor piranómetro: 1205495 Sensor veleta: 1205495 Fuente:	Este equipo está dotado de 4 canales de salida para los sensores que medirán: Temperaturas ambientales exterior e interior y humedad relativa. La radiación Velocidad del viento. Guía del Usuario de Microestación y Data Logger

Especificaciones de los equipos empleados:

Los equipos poseen una memoria de 512 kb, tienen una alta precisión; rango de medición de -20°C a 50°C, tiempo de muestreo cada hora, precisión de la hora: ± 1 minuto por mes a 25°C; rango de temperatura de operación: -20°C a 50°C; y su dimensión es de 8.9 cm H x 11.4 cm D x 5.4 cm de W, 36 kg de peso.

Para medir la radiación se emplea un Sensor Piranómetro de silicio inteligente, con un rango de medida de 0 a 1280 w/m², rango espectral de 300 a 1100 nm, la resolución de éstos equipos es de 1.25 w/m², rango de operación temperatura de -40° a +75° C, dimensiones de 4.1 cm longitud x 3.2 cm de diámetro.

Para la medición de la velocidad y dirección del viento: Se coloca el equipo compuesto por una veleta y un sensor inteligente debe ser montado en un mástil fijo para evitar que el sensor vibre con los vientos fuertes. El modelo es un Smart - SCAM-M003. Todos los parámetros del sensor se almacenan en el interior del Smart sensor sin ninguna programación o configuración. Especificaciones:



Rango de medición 0 a 44 m/s (0 a 99 mph) 0 a 358 grados, dos grados de banda muerta, Precisión $\pm 0,5$ m / s ($\pm 1,1$ millas por hora) , $\pm 3\%$ 17 a 30 m/s (38 a 67 mph), $\pm 4\%$ 30 a 44 m / s (67 a 99 mph) ± 5 grados, Resolución 0,19 m/s (0,42 mph) Velocidad máxima del viento 54 m / seg (120 mph), Radio de giro 108 mm (4,25 pulgadas), Dimensiones 317 mm de alto x 419 mm, Peso aproximado de 700 gr.

8.5.- Monitores de datos.

En el equipo de cómputo se instaló el software HOBOWare Pro, para que a través de una interface puedan monitorearse y descargarse los datos obtenidos durante el tiempo que dura el experimento. El monitoreo del comportamiento del módulo 1 y del módulo 2, se realizará en etapas semanales por espacio de tres meses, con la intención de recabar datos sobre el comportamiento de los módulos experimentales, en los días de más intensidad calorífica en el municipio.

Una vez que inicie el periodo establecido para la evaluación del sistema en curso, los equipos U-Series Data Logger y Device (Hobos) con sus respectivos sensores realizaron un registro cada media hora de las temperaturas de la superficie interior y exterior, temperaturas ambientales exterior e interior, humedad relativa (HR), radiación, así como la velocidad del viento. La información que se registrará en los Hobos será descargada a través del software HOBOWare semanalmente, para luego ser transcrita a tablas de Excel preparadas para calcular de manera automática, para cada día, los valores promedios y los valores característicos (máximos, mínimos, promedios) y las gráficas respectivas.

8.6.- Determinación de carga y peso estructural del sistema multicapa.

Las losas de ambos módulos se fabricaron con una Estructura tridimensional de alambre de acero al bajo carbono cal.14, con alma de poliestireno expandido de 2" de espesor, (Manual de Covintec, 2011 y Manual Técnico de Construcción, 2008).

A la superficie externa superior de la estructura se le coloca una cama de compresión de 5 cm. de espesor forjada en concreto de $f'c = 200$ kg/cm² a base de cemento, grava de 3/4", arena y agua, en la siguiente proporción 1 bulto de cemento, 5 botes de arena, 6 botes de grava de 3/4", 2 botes de agua (capacidad de los botes 19 lts.), Obteniéndose una losa que soportará una carga estructural de 788 kg/m².

A la superficie interior se le aplica un mortero $f'c = 100$ kg/cm², de 2.5 cm. de espesor en la siguiente proporción 1 saco de cemento, 4 botes de arena, 1 3/4" botes de agua, lo que la convierte en una losa con propiedades estructurales y cualidades térmicas, (Manual Técnico del Sistema Covintec, 2011).

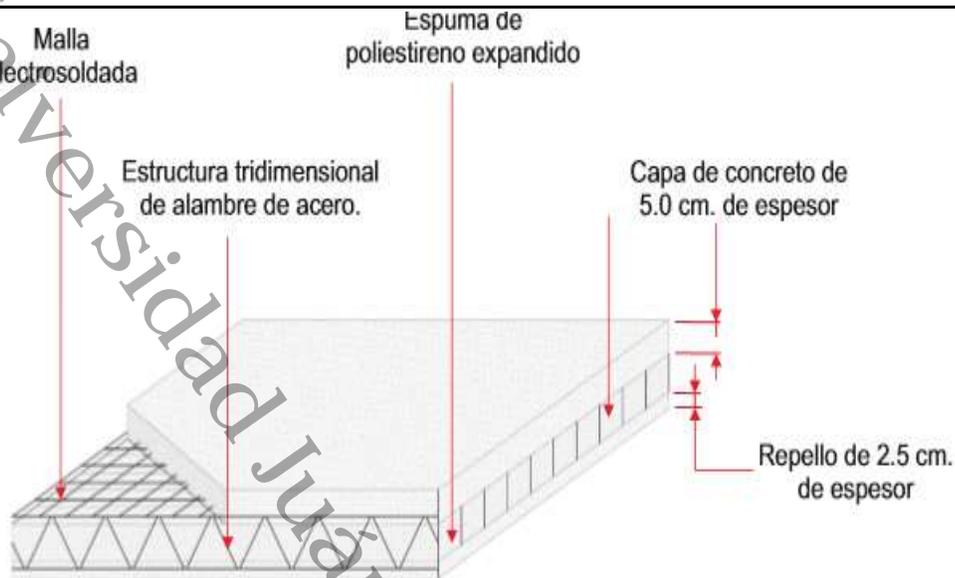


Figura 18.- Características de la losa experimental.

Al módulo 2 se le asignó el sistema multicapa propuesto, con la finalidad de realizar la observación y comparación que se busca entre los dos módulos.

MODULO 2

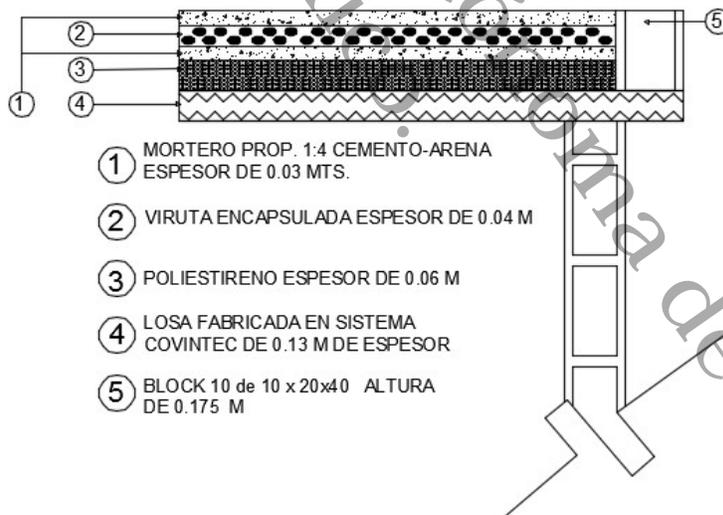


Figura 20. Características de la losa experimental multicapa.

Cuando se utilizan los factores para el cálculo de cargas de enfriamiento en espacios y edificios, lo importante es aplicar un buen criterio para desarrollar algún procedimiento definido, (ASRHA, 2013) Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración. Para realizar el estimado de la carga de enfriamiento requerida con la mayor exactitud



posible en edificaciones, mencionaremos dos de las condiciones más importantes a considerar en su evaluación:

- Tipo de material a emplearse
- Espesor y características de los aislamientos.

Debido a que los residuos sólidos inorgánicos generados por la actividad humana se han convertido en un problema importante para la población mundial, se determinó emplear en el prototipo materiales de rehúso en su fabricación, como premisa y para establecer el tipo de material a emplear se escogió entre los que son aislantes térmicos con una conductividad térmica baja. Proponiendo para el proyecto la viruta de pino y el poliestireno expandido.

8.7.- Análisis de costo del prototipo en relación a otros.

El método del análisis de costo del prototipo y sus similares, se realizó en base al reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con la Misma, teniendo como fundamentos los siguientes artículos:

Art. 154 del Reglamento donde se define al precio unitario como el importe de la pago total que debe cubrirse por unidad de concepto terminado, ejecutado conforme al proyecto, especificaciones de construcción y normas de calidad. El precio unitario presentado se integró únicamente con los costos directos correspondientes al concepto de trabajo.

Artículo 156.- El análisis, cálculo e integración de los precios unitarios para el trabajo determinado, guardó congruencia con los procedimientos constructivos o la metodología de ejecución de los trabajos, con los programas de trabajo, de utilización de personal y de equipo de construcción; considerándose los costos vigentes de los materiales a través de cotizaciones, recursos humanos y demás insumos necesarios en el momento y en la zona donde se llevaron a cabo los trabajos, todo ello de conformidad con las especificaciones generales y particulares de construcción y normas de calidad determinados por en el proyecto.

Artículo 157.- Los precios unitarios de los conceptos de trabajo fueron expresados en moneda nacional. Las unidades de medida de los conceptos de trabajo correspondieron al Sistema General de Unidades de Medidas de uso nacional.

El cálculo del costo directo del concepto de trabajo fue fundamentado en los artículos 159 al 178, donde se establece la metodología para la integración de los materiales, mano de obra, equipo y herramienta involucrados en la fabricación de los trabajos directamente.



8.8.- Análisis estadístico de los datos.

En primera instancia los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, verificando el comportamiento horario de las variables temperatura interior y exterior, humedad relativa interior-exterior, velocidad de ráfagas y velocidad del viento. Posteriormente se realizó un análisis comparativo descriptivo en Excel 2013.

Una vez que los datos cumplieron con postulados de normalidad y homosedasticidad se realizó un ANOVA para las variables Temperatura (interior y exterior) y Humedad relativa (interior y exterior). Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Temperatura entre un nivel de Tratamiento, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se realizó una Prueba de Múltiples Rangos. Los datos fueron corridos en el Software Statgraphics.



9.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

9.1.- Planos de construcción del prototipo del sistema de cubierta multicapa utilizado.

Los planos de construcción de las unidades experimentales se presentan en el anexo 2

9.2.- Evaluación de variables ambientales en el prototipo experimental

9.2.1.- Comportamiento de las variables en el módulo 1.

9.2.1.1.- Temperatura Interior (Módulo 1)

La temperatura presente en el módulo 1 para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 25.8°C, el valor promedio en ese mes fue de 29.8 °C y se reportó un valor Máximo de 34.8 °C. En figura 19, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos, se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:00 horas a las 19:00 y los valores mínimos se reportan entre las 5:00 y 8:00 horas.

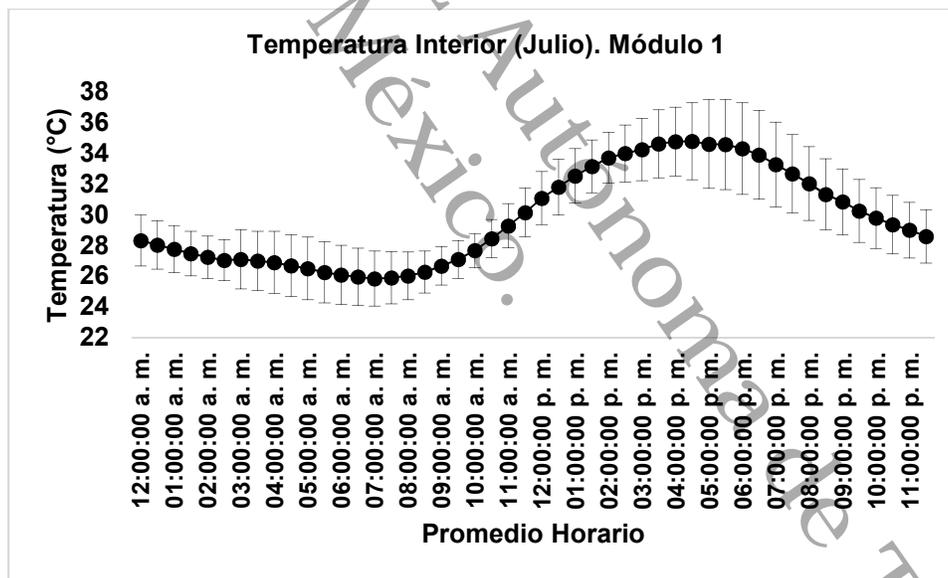


Figura 19.- Comportamiento de la temperatura del interior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedio horarios con desviación estándar (DE±).

La temperatura presente en el módulo 1 para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 24.6°C, el valor promedio en ese mes fue de 29.6°C y se reportó un valor Máximo de 36.9°C. En figura 20, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 13:00 horas a las 15:00, los valores mínimos se reportan entre las 5:00 y 7:00 horas.

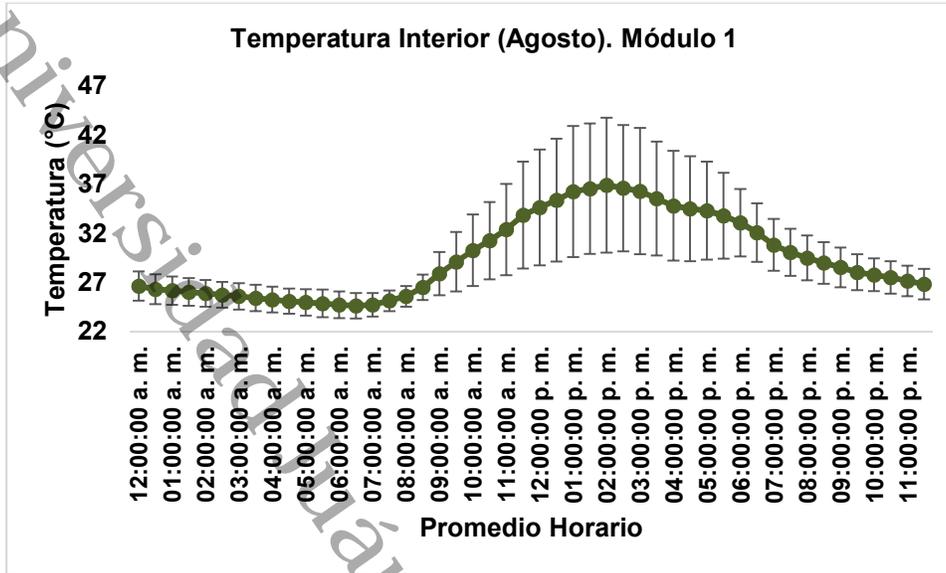


Figura 20.- Comportamiento de la temperatura del interior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.

La temperatura presente en el módulo 1 para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 25.6°C, el valor promedio en ese mes fue de 28.5°C y se reportó un valor Máximo de 32.1°C. En figura 21, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:00 horas a las 16:30, los valores mínimos se reportan entre las 4:30 y 7:00 horas.

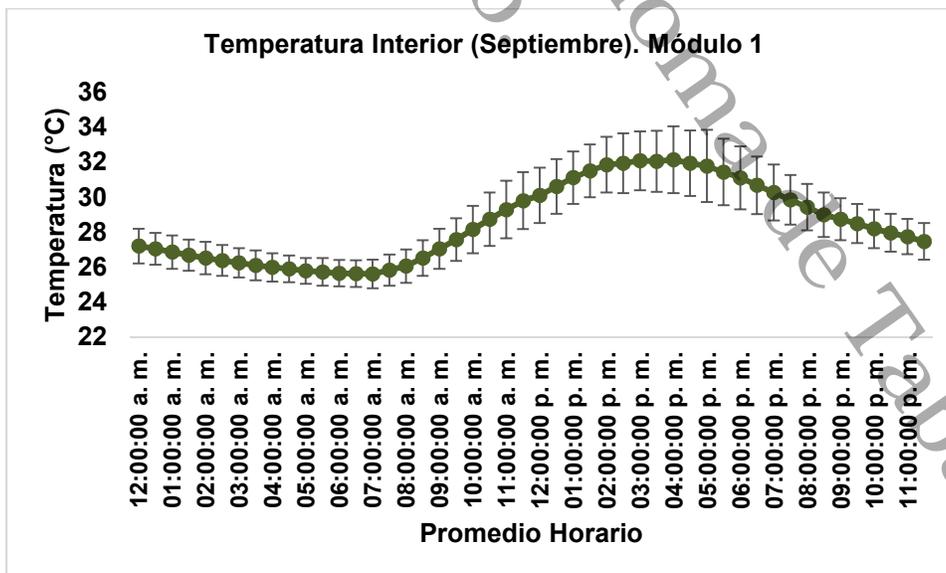


Figura 21.- Comportamiento de la temperatura del interior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.



9.2.1.2.- Temperatura Exterior (Módulo 1)

La temperatura presente en el módulo 1 para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 23.0°C, el valor promedio en ese mes fue de 27.2°C y se reportó un valor Máximo de 32.3°C. En figura 22, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:30 horas a las 17:30, los valores mínimos se reportan entre las 7:00 y 8:00 horas.

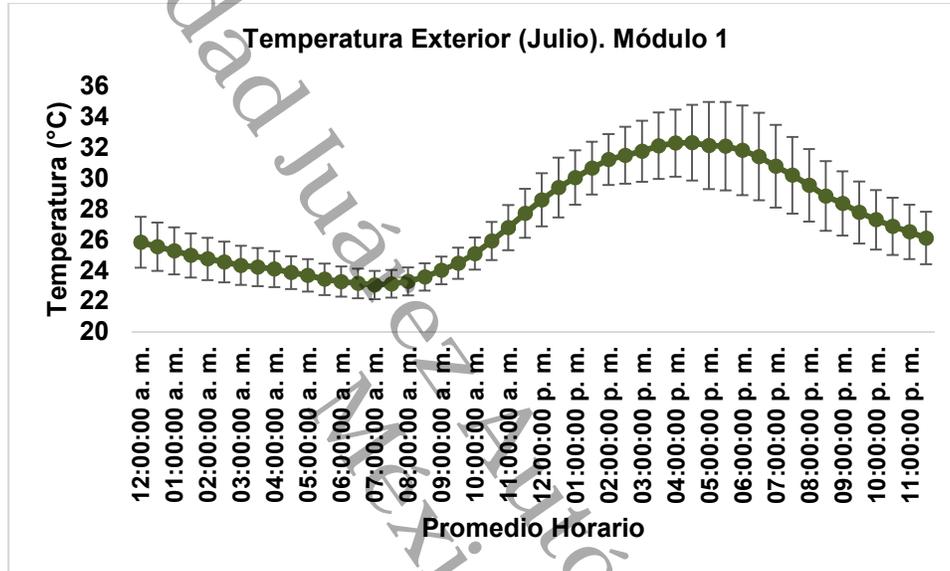


Figura 22.- Comportamiento de la temperatura del exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.

La temperatura presente en el módulo 1 para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 25.0°C, el valor promedio en ese mes fue de 28.9°C y se reportó un valor Máximo de 33.5°C. En figura 23, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 14:00 horas a las 17:00, los valores mínimos se reportan entre las 4:30 y 7:00 horas.

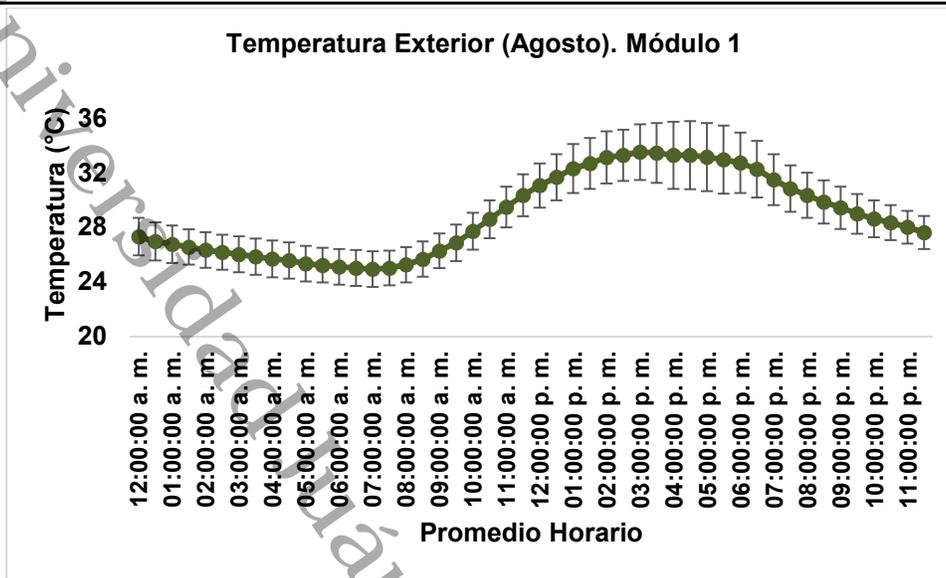


Figura 23.- Comportamiento de la temperatura del exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.

La temperatura presente en el módulo 1 para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 27.5°C, el valor promedio en ese mes fue de 29.0°C y se reportó un valor Máximo de 33.1°C. En figura 24, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 13:00 horas a las 15:00, los valores mínimos se reportan entre las 06:00 y 09:00 horas.

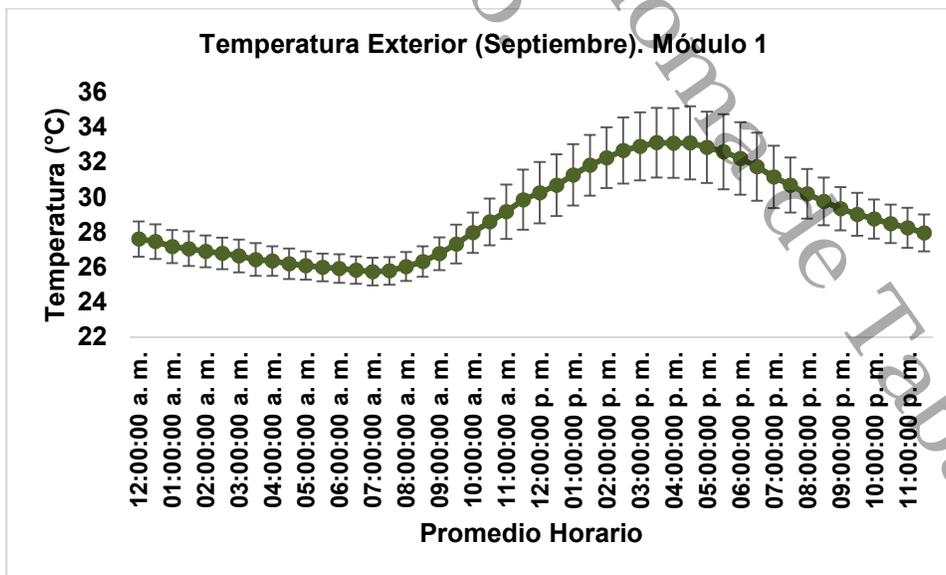


Figura 24.- Comportamiento de la temperatura del exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.



9.2.1.3.- Comparación entre la Temperatura Interior y Exterior (Módulo 1)

Las temperaturas presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en donde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la temperatura interior. Para el mes de Julio, se presentó un Mínimo interior de 25.85°C y exterior de 23.04°C, el valor promedio interior en ese mes fue de 29.8°C y exterior de 27.2°C y se reportó un valor Máximo interior de 34.8°C y exterior de 32.3°C. En la figura 25, se presenta el comportamiento de la temperatura en promedio horario, con su respectiva desviación estándar. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:30 horas a las 17:30 y los valores mínimos se reportan entre las 06:30 y 07:30 horas.

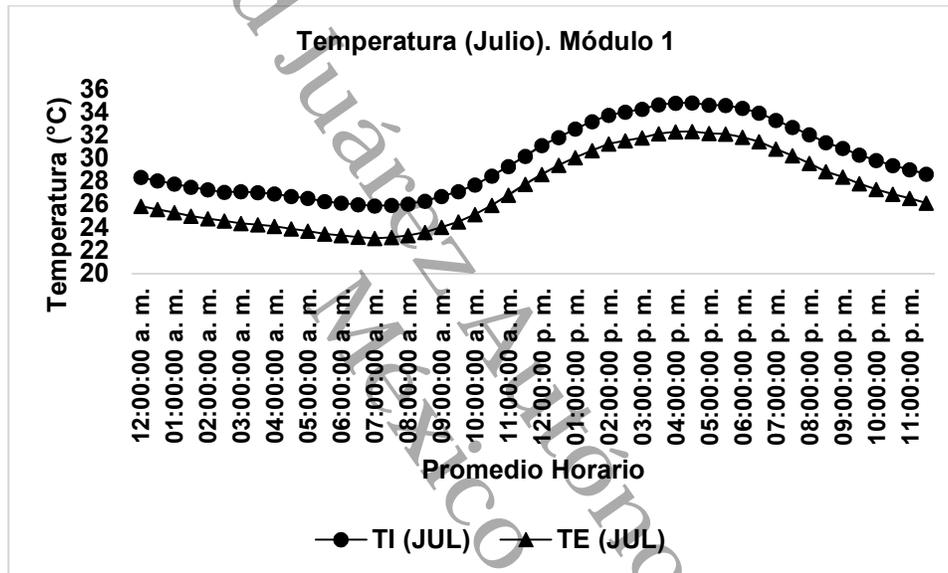


Figura 25.- Comportamiento de la temperatura interior y exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

Las temperaturas presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en donde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo la temperatura interior y exterior casi similares de las 0:00 a 08:00 horas, de las 8:30 a las 18:30 la temperatura interior es más elevada que la exterior y de las 19:00 a las 23:00 horas se establece una pequeña diferencia. Para el mes de Agosto, presentó un Mínimo interior de 24.6°C y exterior de 25.0°C, el valor promedio interior en ese mes fue de 29.6°C y exterior de 28.9°C y se reportó un valor Máximo interior de 39.9°C y exterior de 33.5°C. En figura 26, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 13:30 horas a las 15:00, los valores mínimos se reportan entre las 06:30 y 07:30 horas.

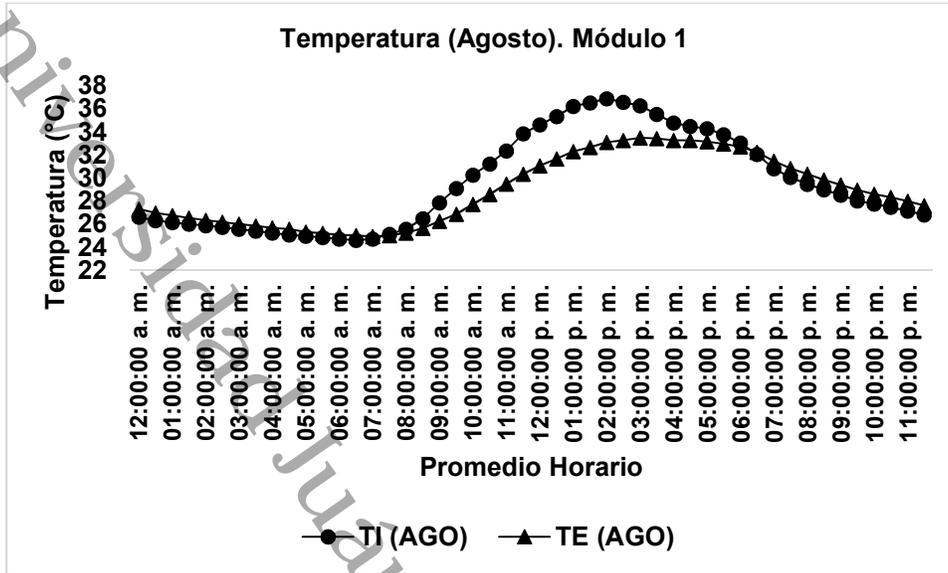


Figura 26.- Comportamiento de la temperatura interior y exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

Las temperaturas presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en dónde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo la temperatura interior y exterior casi similares de las 0:00 a 13:00 horas, de las 13:30 a las 20:30 la temperatura interior es más elevada que la exterior y de las 21:00 a las 23:00 horas se establece una pequeña diferencia. Para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo interior de 24.6°C y exterior de 25.0°C, el valor promedio interior en ese mes fue de 28.5°C y exterior de 29.0°C y se reportó un valor Máximo interior de 32.1°C y exterior de 33.1°C. En figura 27, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:30 horas a las 16:30, los valores mínimos se reportan entre las 06:30 y 07:30 horas.

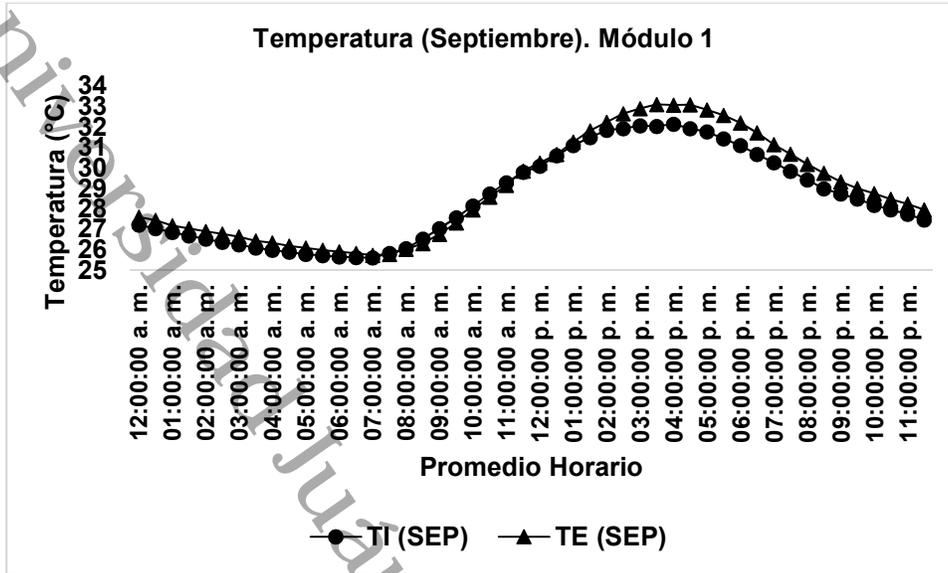


Figura 27.- Comportamiento de la temperatura interior y exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.

9.2.1.4.- Humedad Relativa Interior (Módulo 1)

La humedad presente en el módulo 1 para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 55.3 %, el valor promedio en ese mes fue de 72.6 % y se reportó un valor Máximo de 86.6 %. En figura 28, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 07:00 horas a las 08:30, los valores mínimos se reportan entre las 16:00 y 17:30 horas.

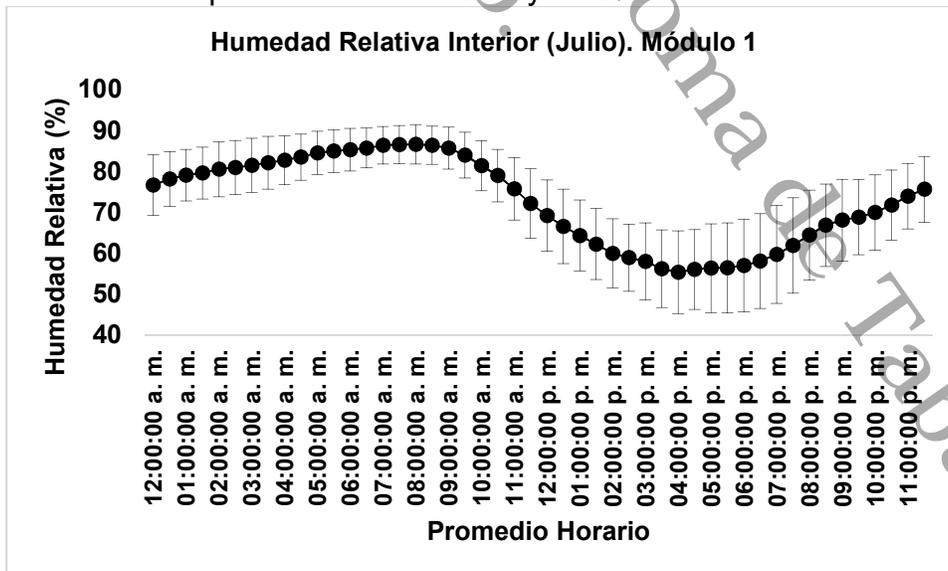


Figura 28.- Comportamiento de la humedad relativa del interior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.



La humedad presente en el módulo 1 para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 47.8 %, el valor promedio en ese mes fue de 72.3 % y se reportó un valor Máximo de 88.6 %. En figura 29, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 07:00 horas a las 08:00, los valores mínimos se reportan entre las 14:00 y 15:00 horas.

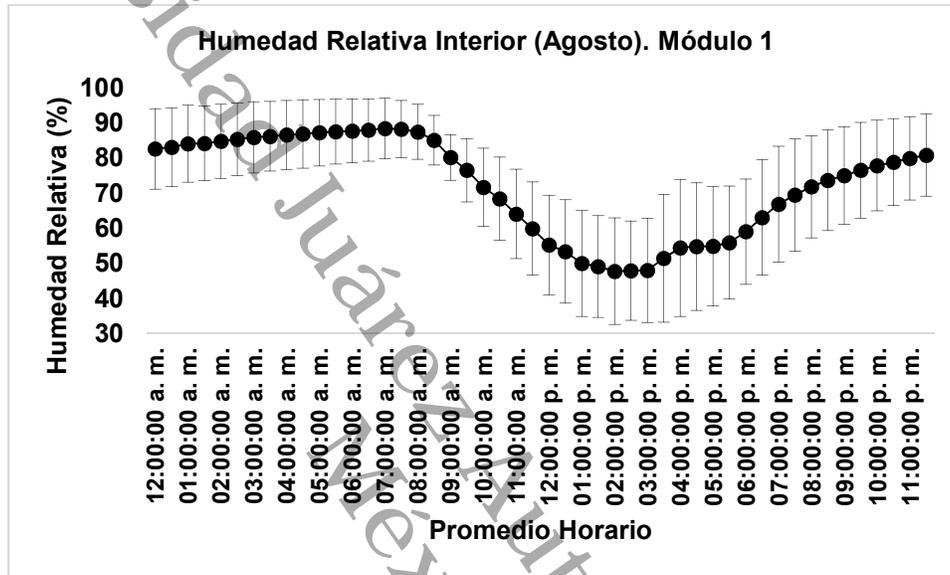


Figura 29.- Comportamiento de la humedad relativa del interior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.

La humedad presente en el módulo 1 para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 57.2 %, el valor promedio en ese mes fue de 72.0 % y se reportó un valor Máximo de 83.0 %. En figura 30, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 07:00 horas a las 08:30, los valores mínimos se reportan entre las 15:00 y 16:00 horas.

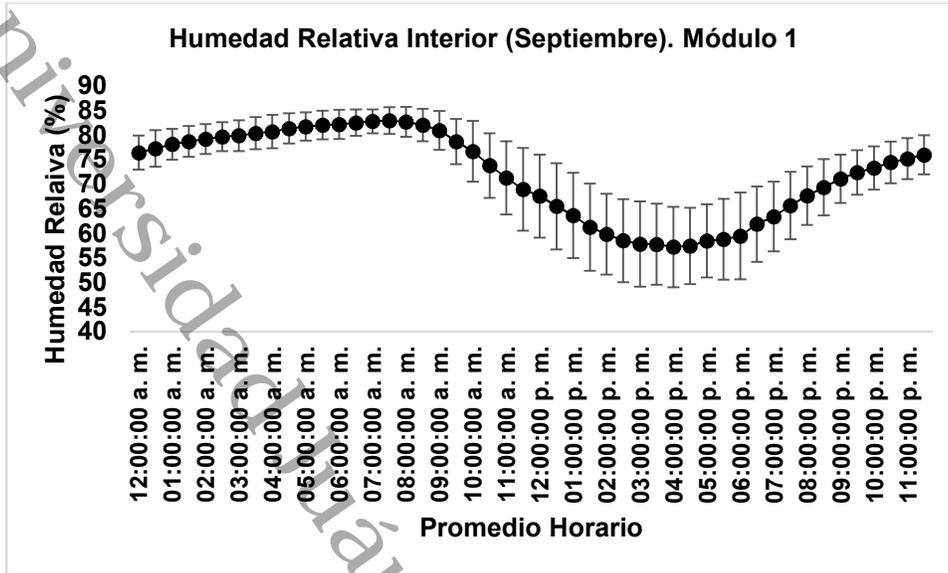


Figura 30.- Comportamiento de la humedad relativa del interior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.

9.2.1.5.- Humedad Relativa Exterior (Módulo 1)

La humedad presente en el módulo 1 para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 63.3 %, el valor promedio en ese mes fue de 80.6 % y se reportó un valor Máximo de 94.60 %. En figura 31, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 07:30 horas a las 09:00, los valores mínimos se reportan entre las 16:00 y 17:00 horas.

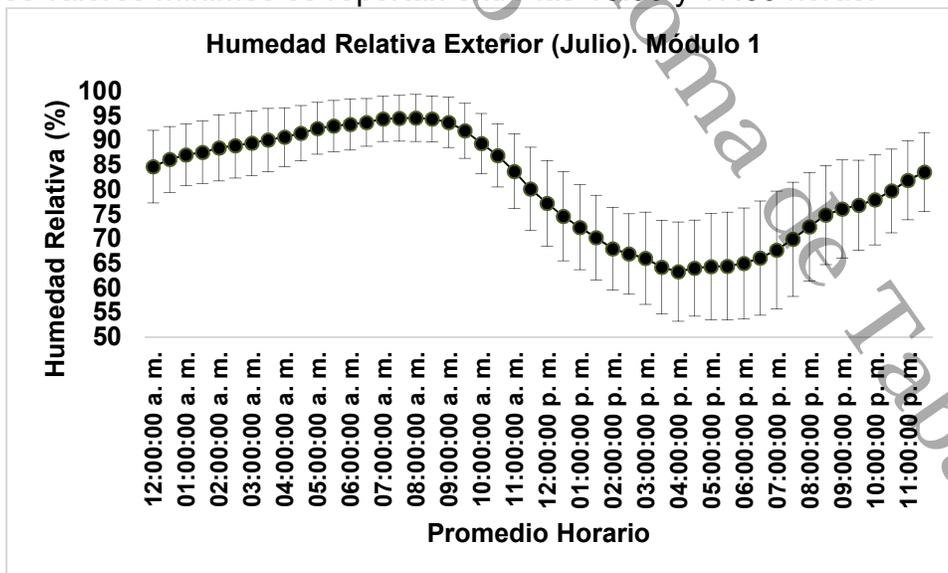


Figura 31.- Comportamiento de la humedad relativa del exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.



La humedad presente en el módulo 1 para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 58.5 %, el valor promedio en ese mes fue de 76.0 % y se reportó un valor Máximo de 89.8 %. En figura 32, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 07:30 horas a las 08:30, los valores mínimos se reportan entre las 15:00 y 15:30 horas.

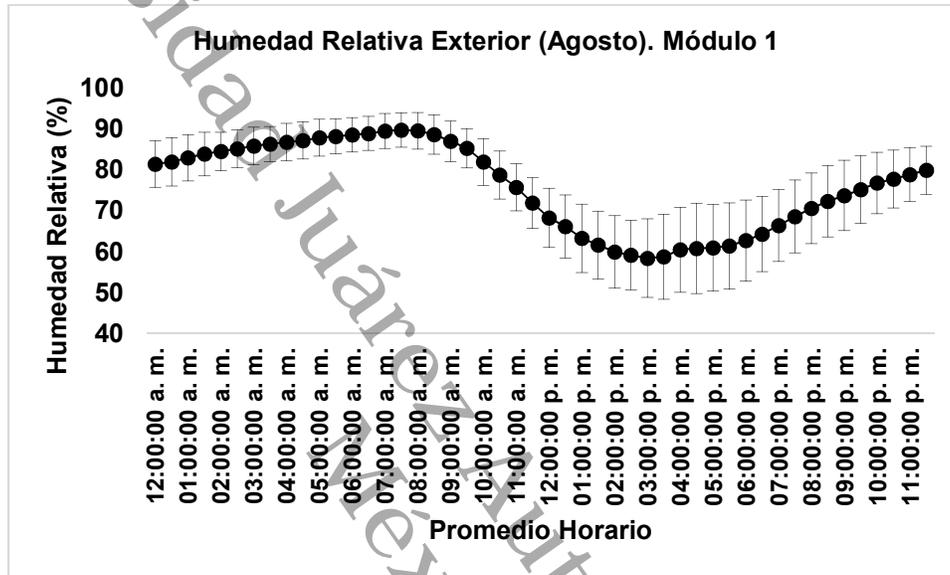


Figura 32.- Comportamiento de la humedad relativa del exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.

La humedad presente en el módulo 1 para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 65.2 %, el valor promedio en ese mes fue de 80.0 % y se reportó un valor Máximo de 91.0 %. En figura 33, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 07:00 horas a las 08:30, los valores mínimos se reportan entre las 16:00 y 17:00 horas.

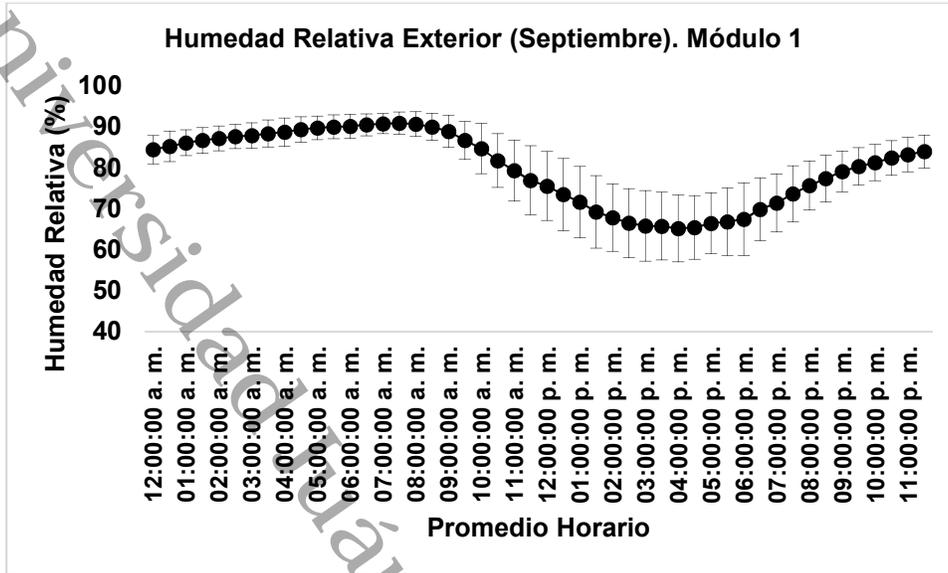


Figura 33.- Comportamiento de la humedad relativa del exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios horarios con desviación estándar.

9.2.1.6.- Comparación de la Humedad Relativa Interior y Exterior (Módulo 1)

Las humedades presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en dónde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la humedad exterior. Para el mes de Julio, presentó un Mínimo interior de 55.3 % y exterior de 63.3 %, el valor promedio interior en ese mes fue de 72.6 % y exterior de 80.6 % y se reportó un valor Máximo interior de 86.6% y exterior de 94.6 %. En figura 34, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las humedades más altas del día a partir de las 07:30 horas a las 09:00, los valores mínimos se reportan entre las 16:00 y 16:30 horas.

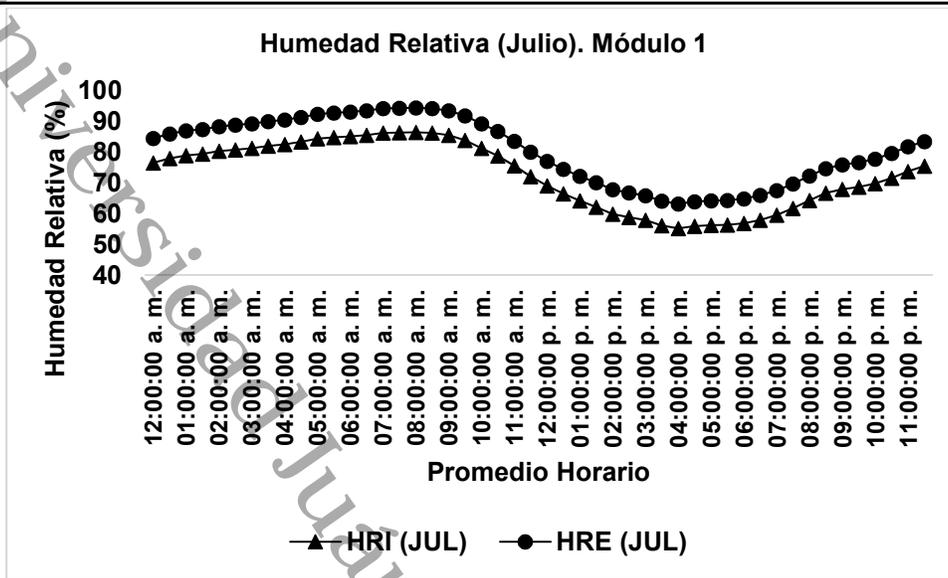


Figura 34.- Comportamiento de la humedad relativa interior y exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

Las humedades presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en donde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo la temperatura interior y exterior casi similares de las 0:00 a 07:00 horas, de las 7:30 a las 17:30 la humedad exterior es más elevada que la interior y de las 18:00 a las 23:00 horas se establece una pequeña diferencia. Para el mes de Agosto, presentó un Mínimo interior de 47.8 % y exterior de 58.5 %, el valor promedio interior en ese mes fue de 72,3 % y exterior de 76 % se reportó un valor Máximo interior de 88.6 y exterior de 89.8 %. En figura 35, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las humedades más altas del día a partir de las 06:30 horas a las 08:30, los valores mínimos se reportan entre las 14:00 y 15:00 horas.

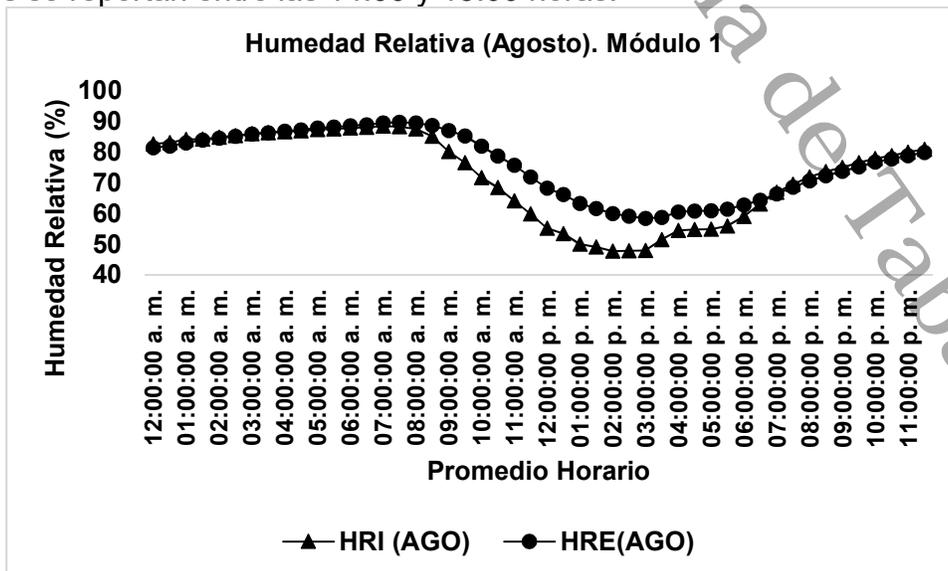




Figura 35.- Comportamiento de la humedad relativa interior y exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

Las humedades presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en donde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la humedad exterior. Para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo interior de 57.2 % y exterior de 65.2 %, el valor promedio interior en ese mes fue de 72.0 % y exterior de 80.0% y se reportó un valor Máximo interior de 83.0% y exterior de 91.0 %. En figura 36, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las humedades más altas del día a partir de las 05:00 horas a las 09:00, los valores mínimos se reportan entre las 15:30 y 16:30 horas

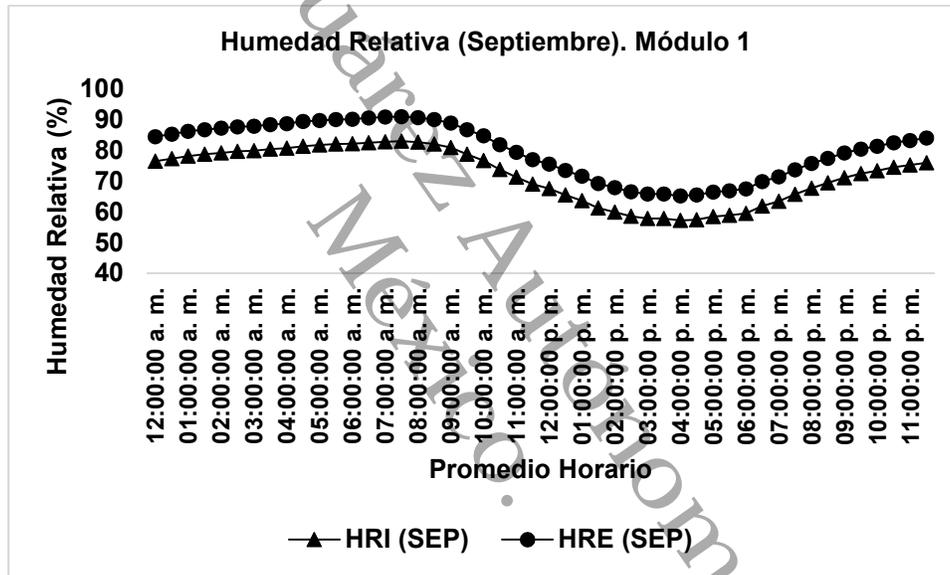


Figura 36.- Comportamiento de la humedad relativa interior y exterior del módulo 1 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.



9.2.2.- Comportamiento de las variables en el módulo 2.

9.2.2.1.- Temperatura Interior (Módulo 2)

La temperatura presente en el módulo 2 para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 21.6°C, el valor promedio en ese mes fue de 25.0 °C y se reportó un valor Máximo de 28.7 °C. En figura 37, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos, se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:30 horas a las 18:30 y los valores mínimos se reportan entre las 5:30 y 8:00 horas.

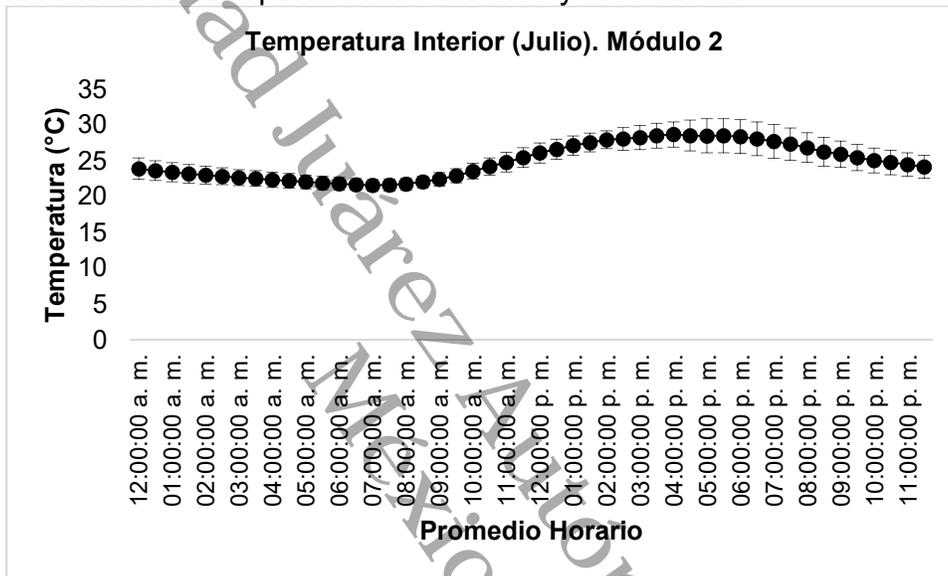


Figura 37.- Comportamiento de la temperatura interior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

La temperatura presente en el módulo 2 para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 21.2°C, el valor promedio en ese mes fue de 24.4 °C y se reportó un valor Máximo de 27.9 °C. En figura 38, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos, se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 13:30 horas a las 18:00 y los valores mínimos se reportan entre las 5:00 y 8:00 horas.

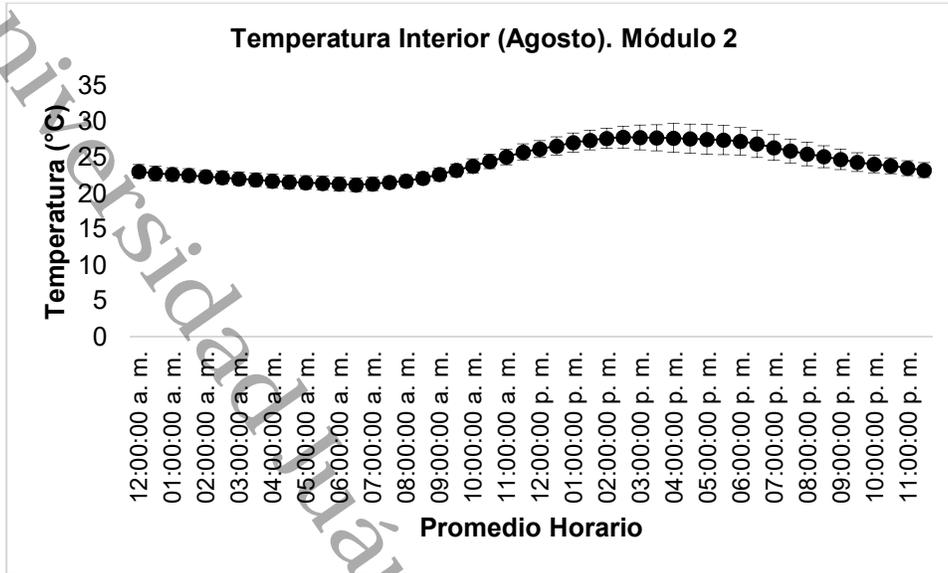


Figura 38.- Comportamiento de la temperatura interior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

La temperatura presente en el módulo 2 para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 21.7°C, el valor promedio en ese mes fue de 24.2 °C y se reportó un valor Máximo de 27.2 °C. En figura 39, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos, se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 14:30 horas a las 16:30 y los valores mínimos se reportan entre las 5:00 y 8:00 horas.

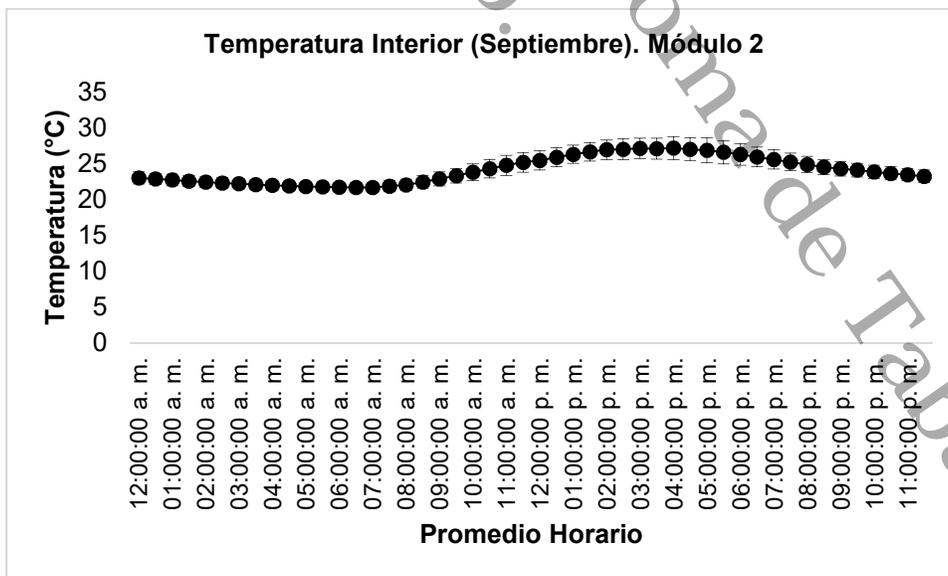


Figura 39.- Comportamiento de la temperatura interior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.



9.2.2.2.- Temperatura Exterior (Módulo 2)

La temperatura presente en el módulo 2 para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 23.7°C, el valor promedio en ese mes fue de 27.2 °C y se reportó un valor Máximo de 31.3 °C. En figura 40, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos, se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:30 horas a las 18:00 y los valores mínimos se reportan entre las 5:30 y 7:00 horas.

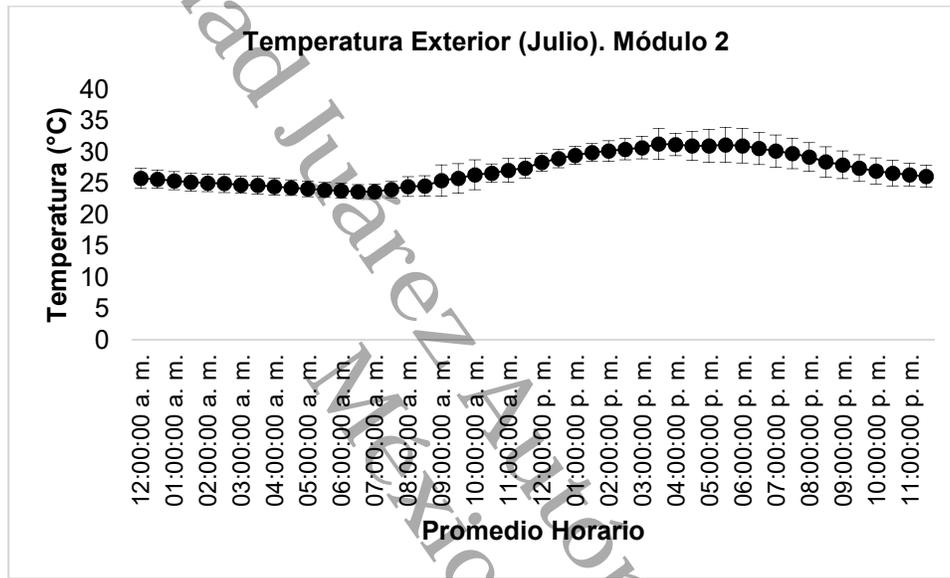


Figura 40.- Comportamiento de la temperatura exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

La temperatura presente en el módulo 2 para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 23.7 °C, el valor promedio en ese mes fue de 26.9 °C y se reportó un valor Máximo de 30.5 °C. En figura 41, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos, se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:00 horas a las 16:30 y los valores mínimos se reportan entre las 4:30 y 7:00 horas.

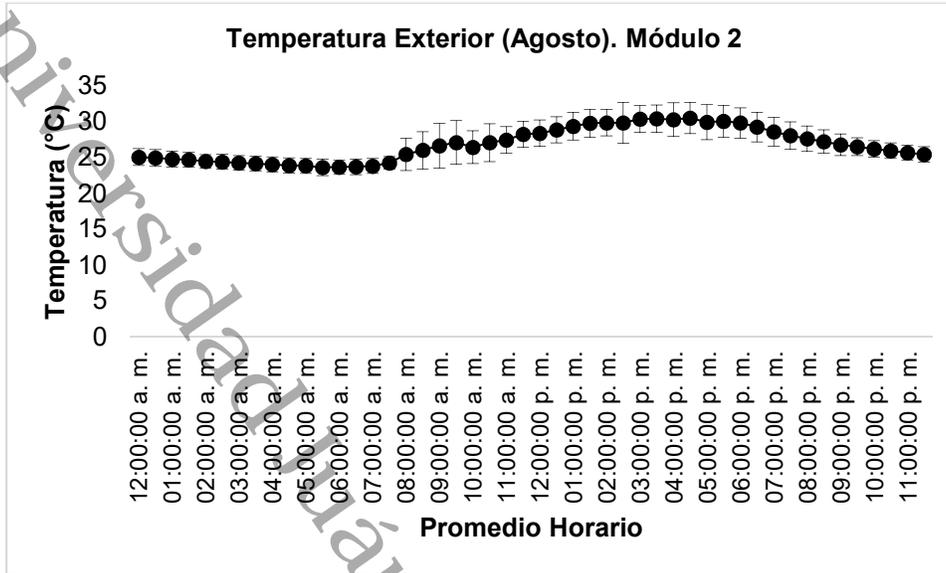


Figura 41.- Comportamiento de la temperatura exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

La temperatura presente en el módulo 2 para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 23.8°C, el valor promedio en ese mes fue de 26.5 °C y se reportó un valor Máximo de 29.9 °C. En figura 42, se presenta el comportamiento de la temperatura en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos, se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 13:30 horas a las 17:00 y los valores mínimos se reportan entre las 4:30 y 6:30 horas.

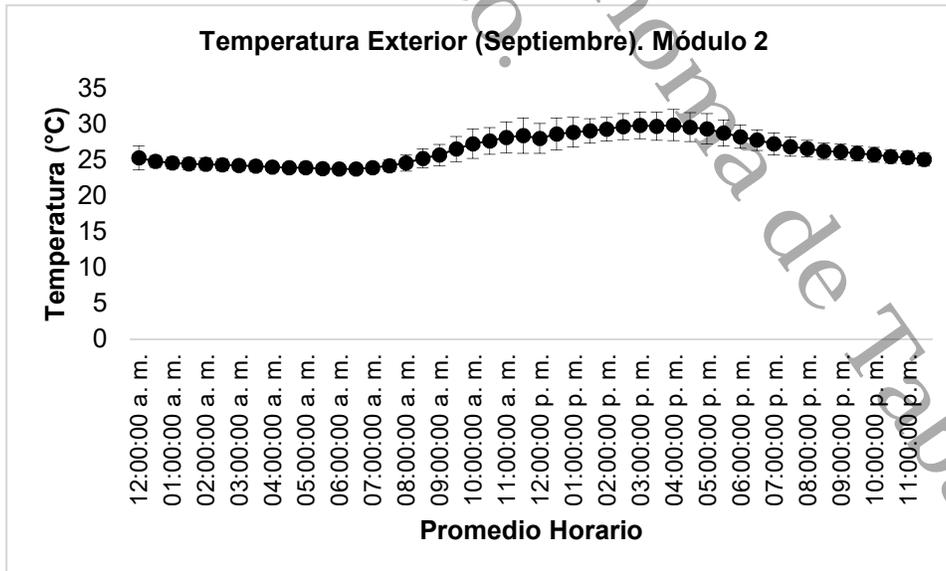


Figura 42.- Comportamiento de la temperatura exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.



9.2.2.3.- Comparación entre la Temperatura Interior y Exterior (Módulo 2)

Las temperaturas presentes, interior y exterior en el módulo 2, proyectan datos en donde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la temperatura exterior. Para el mes de Julio, se presentó un Mínimo interior de 21.60°C y exterior de 23.64°C, el valor promedio interior en ese mes fue de 24.95°C y exterior de 27.21°C y se reportó un valor Máximo interior de 28.71°C y exterior de 31.30°C. En la figura 43, se presenta el comportamiento de la temperatura en promedio horario, con su respectiva desviación estándar. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 15:30 horas a las 18:00 y los valores mínimos se reportan entre las 05:30 y 08:00 horas.

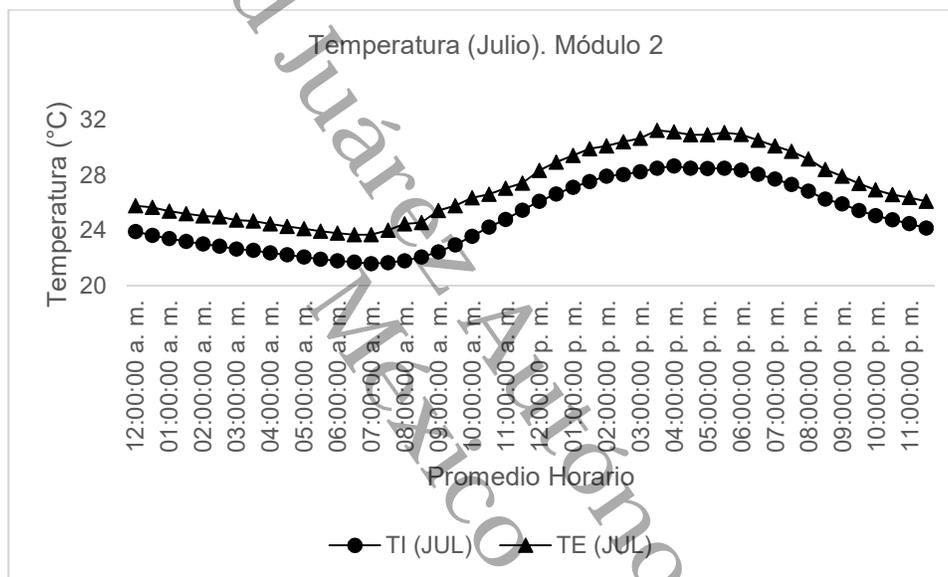


Figura 43.- Comportamiento de la temperatura interior y exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

Las temperaturas presentes, interior y exterior en el módulo 2, proyectan datos en donde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la temperatura exterior. Para el mes de Agosto, se presentó un Mínimo interior de 21.33°C y exterior de 23.66°C, el valor promedio interior en ese mes fue de 24.40°C y exterior de 26.85 °C y se reportó un valor Máximo interior de 27.86 °C y exterior de 30.55°C. En la figura 44, se presenta el comportamiento de la temperatura en promedio horario, con su respectiva desviación estándar. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 13:00 horas a las 18:00 y los valores mínimos se reportan entre las 03:30 y 08:00 horas.

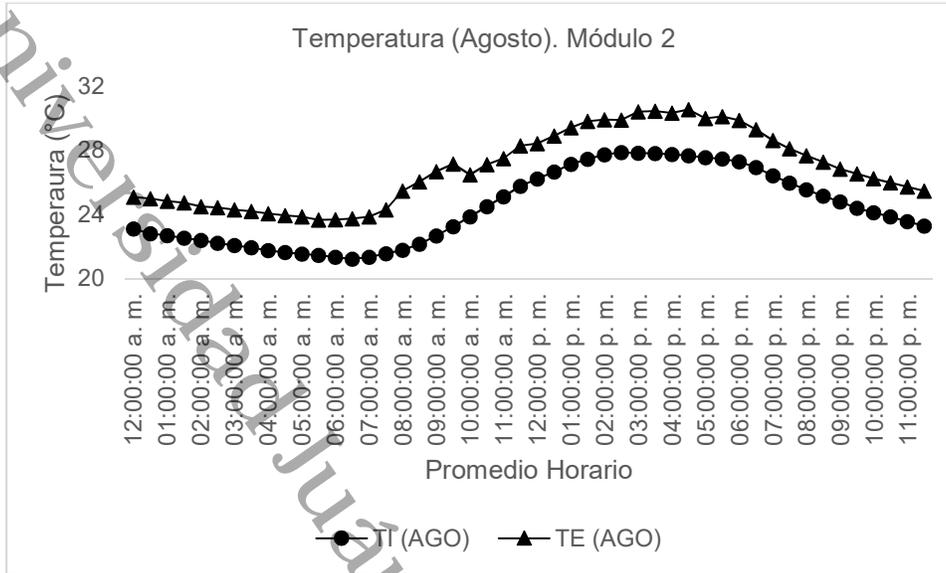


Figura 44.- Comportamiento de la temperatura interior y exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

Las temperaturas presentes, interior y exterior en el módulo 2, proyectan datos en dónde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la temperatura exterior. Para el mes de Septiembre, se presentó un Mínimo interior de 21.68°C y exterior de 23.79 °C, el valor promedio interior en ese mes fue de 24.16°C y exterior de 26.46 °C y se reportó un valor Máximo interior de 27.20 °C y exterior de 29.90°C. En la figura 45, se presenta el comportamiento de la temperatura en promedio horario, con su respectiva desviación estándar. Se tienen las temperaturas más altas del día a partir de las 14:30 horas a las 16:30 y los valores mínimos se reportan entre las 04:30 y 07:30 horas.

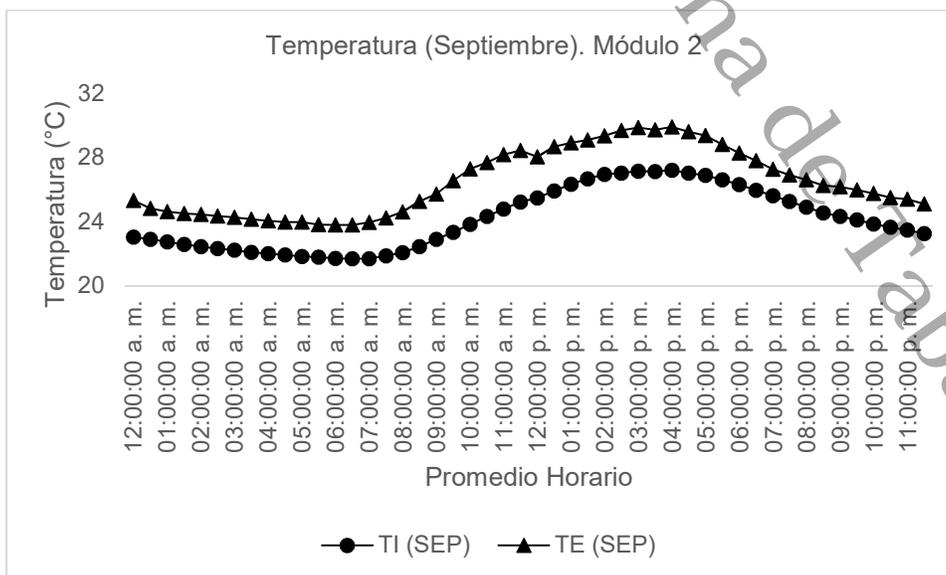




Figura 45.- Comportamiento de la temperatura interior y exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.

9.2.2.4.- Humedad Relativa Interior (Módulo 2)

La humedad presente en el módulo 2 para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 54.2 %, el valor promedio en ese mes fue de 70.2 % y se reportó un valor Máximo de 84.6 %. En figura 46, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 07:00 horas a las 08:30, los valores mínimos se reportan entre las 15:30 y 16:00 horas.

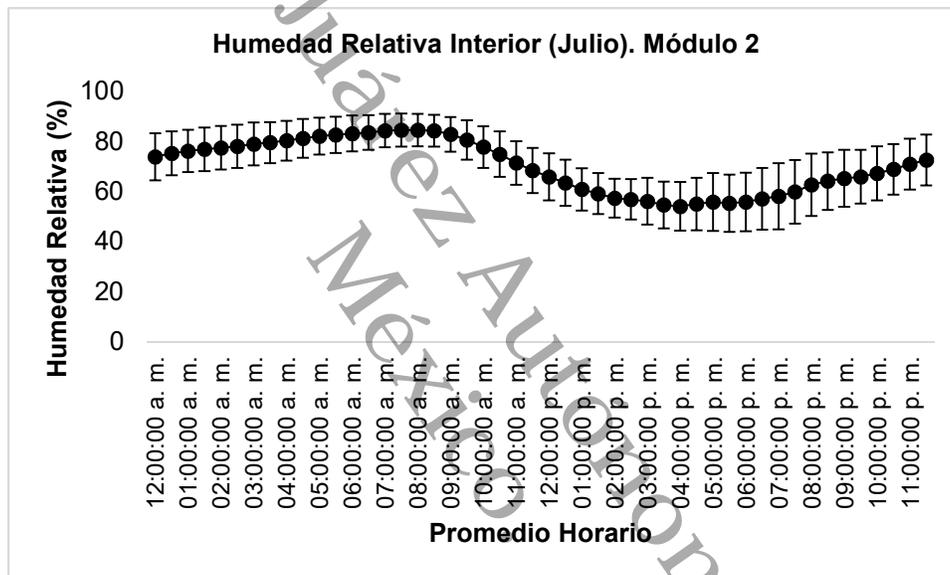


Figura 46.- Comportamiento de la humedad relativa del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

La humedad presente en el módulo 2 para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 56.5 %, el valor promedio en ese mes fue de 72.8 % y se reportó un valor Máximo de 87.8 %. En figura 47, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 07:00 horas a las 08:00, los valores mínimos se reportan entre las 14:00 y 15:30 horas.

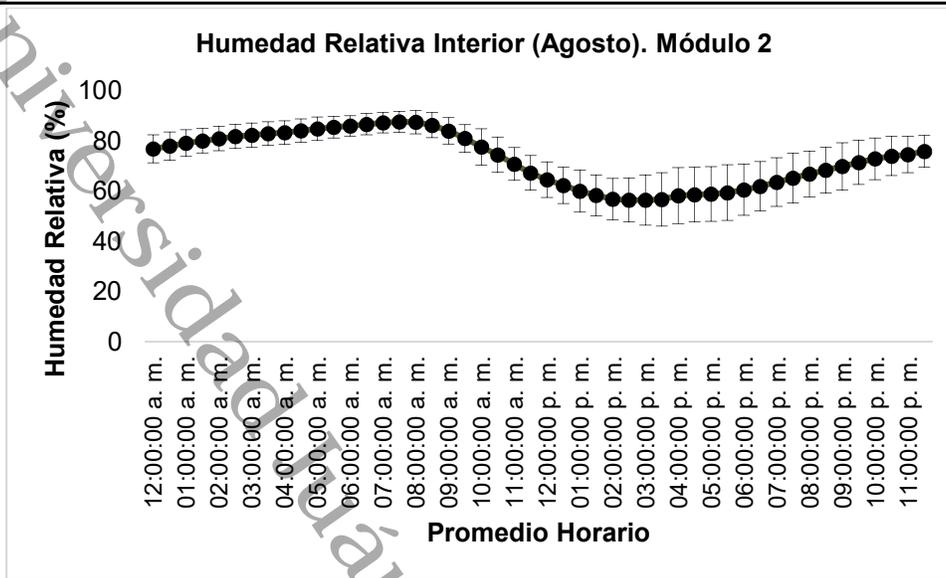


Figura 47.- Comportamiento de la humedad relativa del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

La humedad presente en el módulo 2 para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 64.6 %, el valor promedio en ese mes fue de 79.5 % y se reportó un valor Máximo de 92.0 %. En figura 48, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 06:00 horas a las 08:00, los valores mínimos se reportan entre las 14:30 y 16:00 horas.

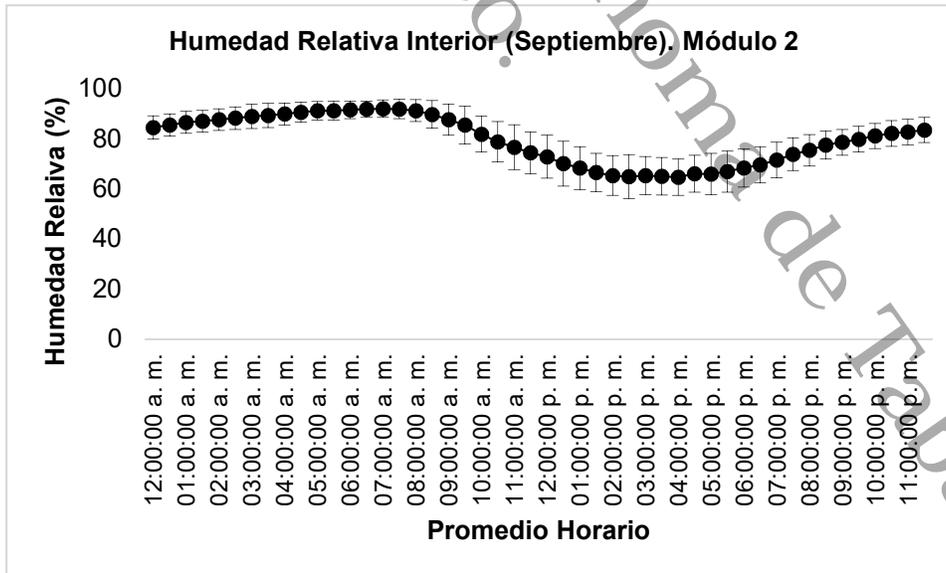


Figura 48.- Comportamiento de la humedad relativa del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.



9.2.2.5.- Humedad Relativa Exterior (Módulo 2)

La humedad presente en el módulo 2 para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 65.6 %, el valor promedio en ese mes fue de 80.8 % y se reportó un valor Máximo de 92.6 %. En figura 49, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 06:30 horas a las 07:00, los valores mínimos se reportan entre las 16:00 y 16:30 horas.

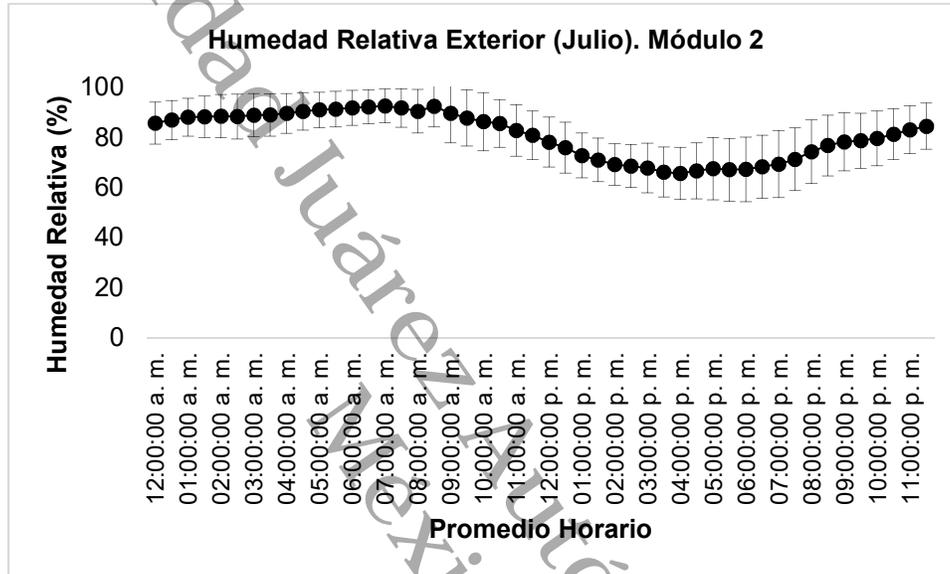


Figura 49.- Comportamiento de la humedad relativa exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

La humedad presente en el módulo 2 para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 67.3 %, el valor promedio en ese mes fue de 83.2 % y se reportó un valor Máximo de 93.6 %. En figura 50, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 06:00 horas a las 08:00, los valores mínimos se reportan entre las 14:30 y 15:30 horas.

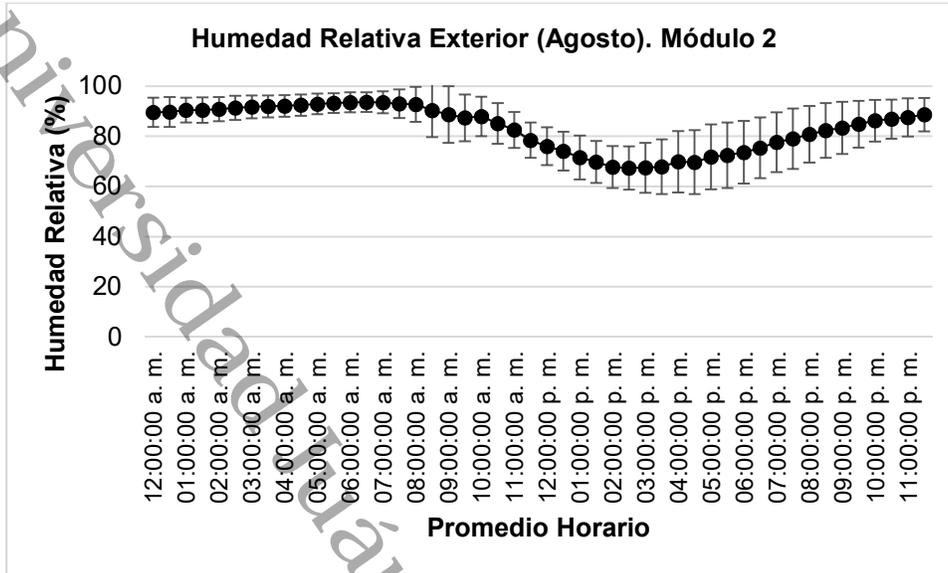


Figura 50.- Comportamiento de la humedad relativa exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

La humedad presente en el módulo 2 para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 75.5 %, el valor promedio en ese mes fue de 90.5 % y se reportó un valor Máximo de 98.7 %. En figura 51, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de humedad más altos del día a partir de las 02:30 horas a las 08:00, los valores mínimos se reportan entre las 14:30 y 15:00 horas.

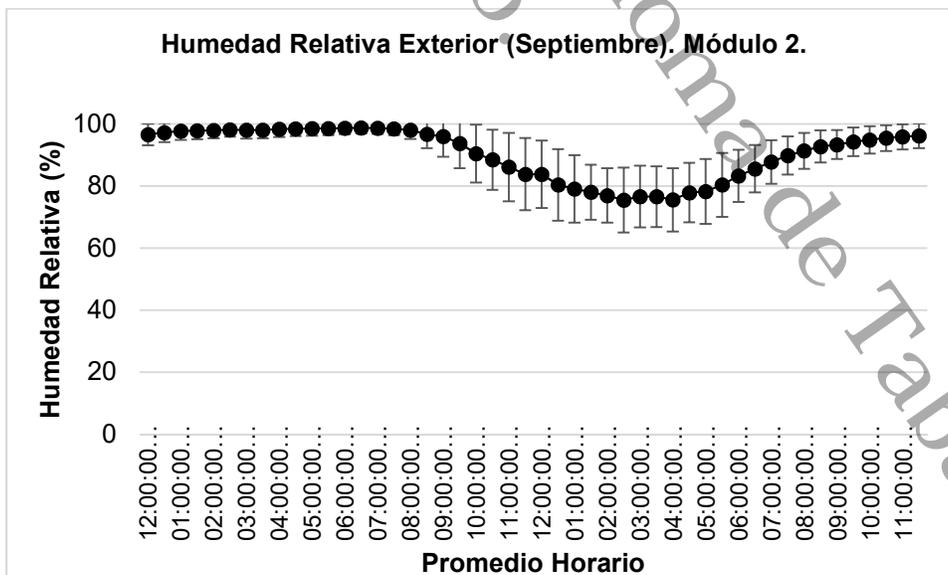


Figura 51.- Comportamiento de la humedad relativa exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.



9.2.2.6.- Comparación entre la Humedad Relativa Interior y Exterior (Módulo 2)

Las humedades presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en dónde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la humedad exterior. Para el mes de Julio, presentó un Mínimo interior de 54.10 % y exterior de 65.64 %, el valor promedio interior en ese mes fue de 70.20 % y exterior de 80.82 % y se reportó un valor Máximo interior de 84.63% y exterior de 92.57 %. En figura 52, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las humedades más altas del día a partir de las 06:30 horas a las 07:00, los valores mínimos se reportan entre las 15:30 y 16:00 horas.

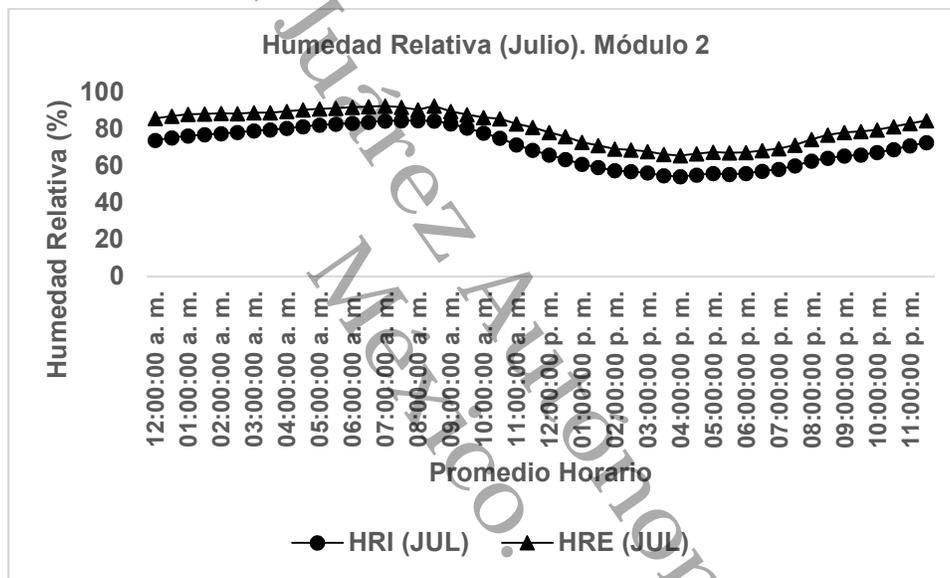


Figura 52.- Comportamiento de la humedad relativa interior y exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

Las humedades presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en dónde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la humedad exterior. Para el mes de Agosto, presentó un Mínimo interior de 56.51 % y exterior de 67.35 %, el valor promedio interior en ese mes fue de 72.81 % y exterior de 83.84 % y se reportó un valor Máximo interior de 87.82% y exterior de 93.62 %. En figura 53, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las humedades más altas del día a partir de las 05:30 horas a las 07:30, los valores mínimos se reportan entre las 14:00 y 15:30 horas.

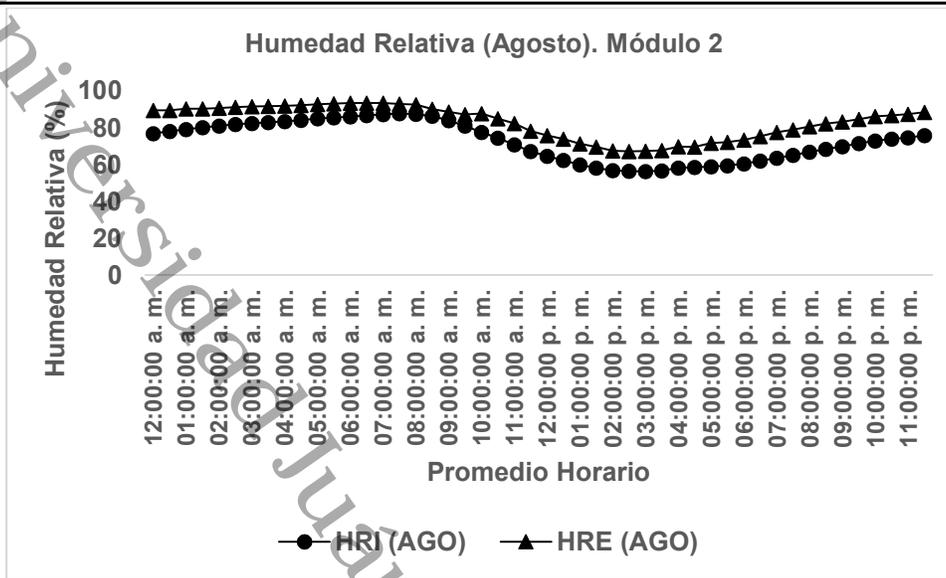


Figura 53.- Comportamiento de la humedad relativa interior y exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

Las humedades presentes, interior y exterior en el módulo 1, proyectan datos en dónde queda establecida una diferencia entre ellas, siendo más alta la humedad exterior. Para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo interior de 64.53 % y exterior de 75.50 %, el valor promedio interior en ese mes fue de 79.55 % y exterior de 90.46 % y se reportó un valor Máximo interior de 91.97% y exterior de 98.71 %. En figura 54, se presenta el comportamiento de la humedad en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen las humedades más altas del día a partir de las 02:30 horas a las 08:00, los valores mínimos se reportan entre las 14:30 y 16:00 horas.

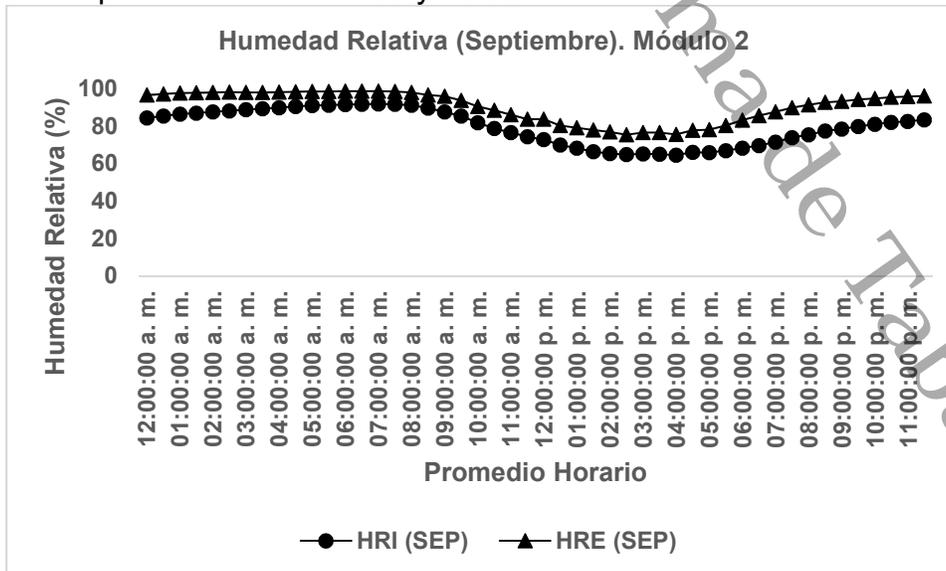


Figura 54.- Comportamiento de la humedad relativa interior y exterior del módulo 2 en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.



9.2.3.- Comportamiento de las variables ambientales externas.

9.2.3.1.- Velocidad del viento

La velocidad del viento presente en ambos módulos para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 1.2 km/hr, el valor promedio en ese mes fue de 2.9 km/h y se reportó un valor Máximo de 4.9 km/h. En figura 55, se presenta el comportamiento de la velocidad del viento en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de velocidad del viento más alto del día a partir de las 14:30 horas a las 17:00, los valores mínimos se reportan entre las 04:30 y 05:30 horas.

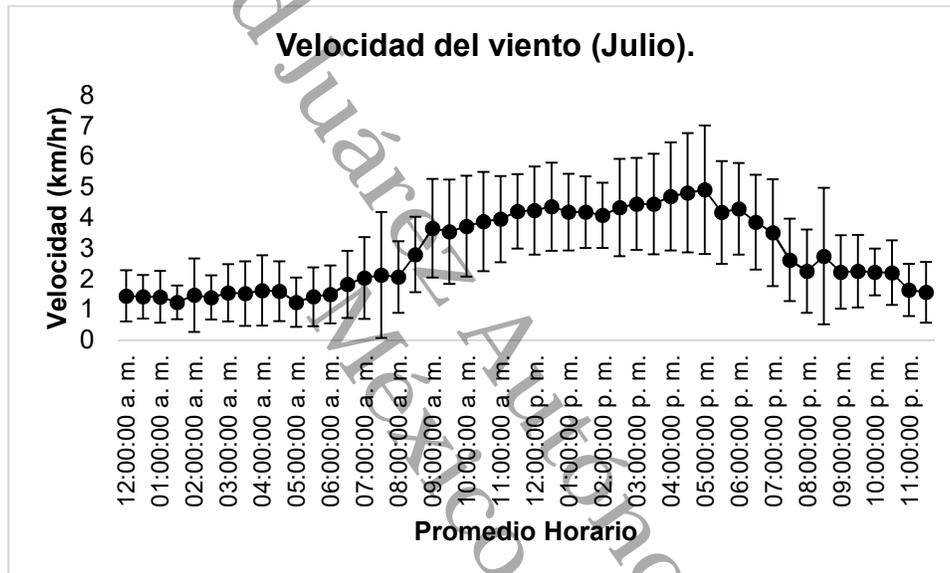


Figura 55.- Comportamiento de la velocidad del viento en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

La velocidad del viento presente en ambos módulos para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 1.0 km/hr, el valor promedio en ese mes fue de 2.6 km/h y se reportó un valor Máximo de 5.6 km/h. En figura 56, se presenta el comportamiento de la velocidad del viento en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de velocidad del viento más alto del día a partir de las 14:30 horas a las 17:00, los valores mínimos se reportan entre las 04:30 y 05:30 horas.

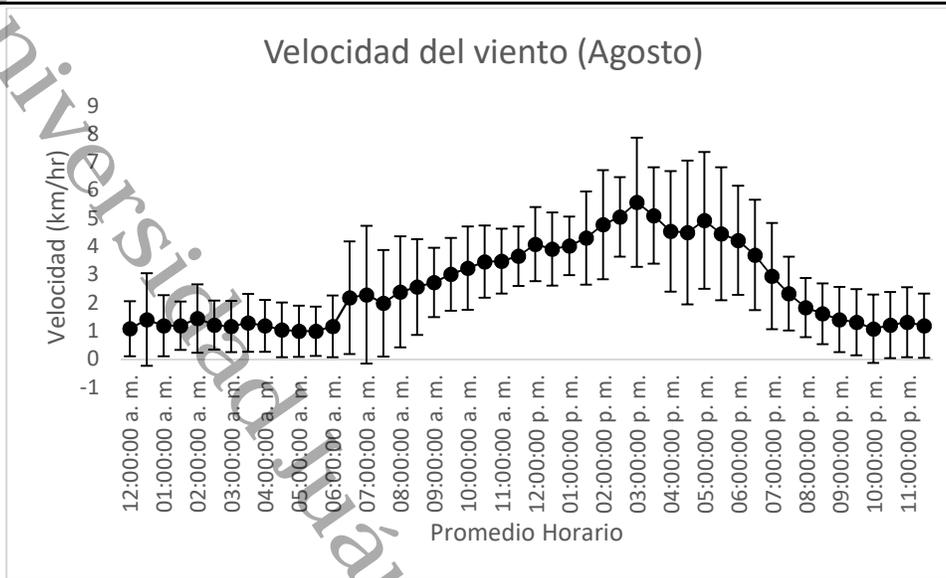


Figura 56.- Comportamiento de la velocidad del viento en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

La velocidad del viento presente en ambos módulos para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 0.70 km/hr, el valor promedio en ese mes fue de 2.4 km/h y se reportó un valor Máximo de 5.6 km/h. En figura 57, se presenta el comportamiento de la velocidad del viento en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de velocidad del viento más alto del día a partir de las 15:30 horas a las 16:00, los valores mínimos se reportan entre las 05:00 y 06:30 horas.

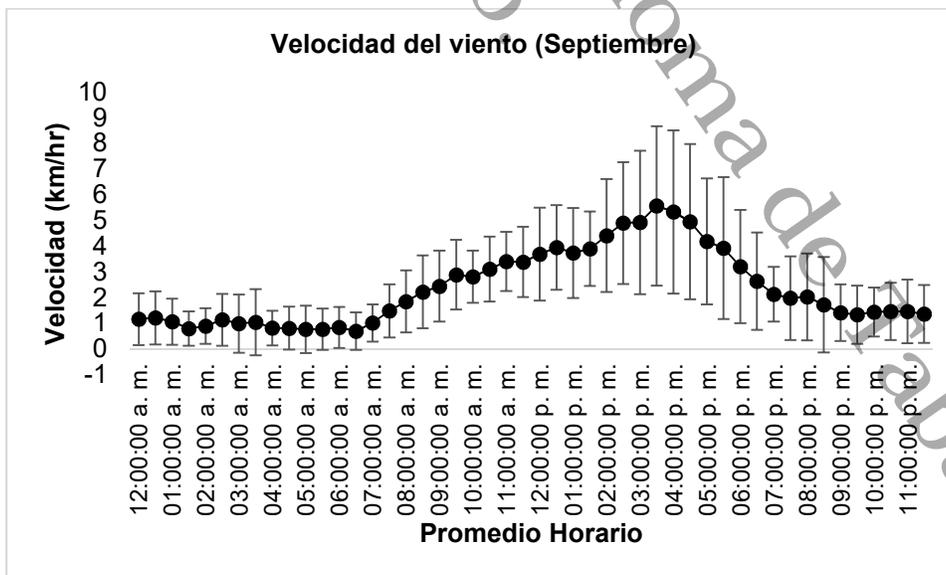


Figura 57.- Comportamiento de la velocidad del viento en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.



9.2.3.2.- Velocidad de las ráfagas

La velocidad de las ráfagas presente en ambos módulos para el mes de Julio, presentó un Mínimo de 3.3 km/hr, el valor promedio en ese mes fue de 9.1 km/h y se reportó un valor Máximo de 16.6 km/h. En figura 58, se presenta el comportamiento de la velocidad del viento en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de velocidad de las ráfagas más alto del día a partir de las 16:30 horas a las 17:30, los valores mínimos se reportan entre las 05:00 y 07:00 horas.

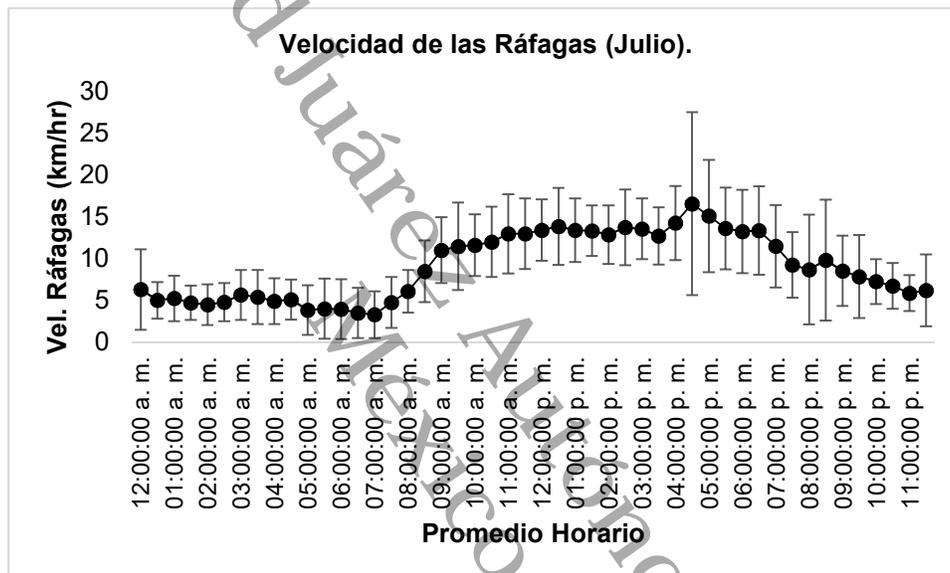


Figura 58.- Comportamiento de la velocidad de las ráfagas en promedio horario correspondiente al mes de Julio. Se presentan valores promedios.

La velocidad de las ráfagas presente en ambos módulos para el mes de Agosto, presentó un Mínimo de 2.00 km/hr, el valor promedio en ese mes fue de 8.00 km/h y se reportó un valor Máximo de 16.7 km/h. En figura 59, se presenta el comportamiento de la velocidad del viento en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de velocidad de las ráfagas más alto del día a partir de las 14:30 horas a las 15:30, los valores mínimos se reportan entre las 04:00 y 05:00 horas.

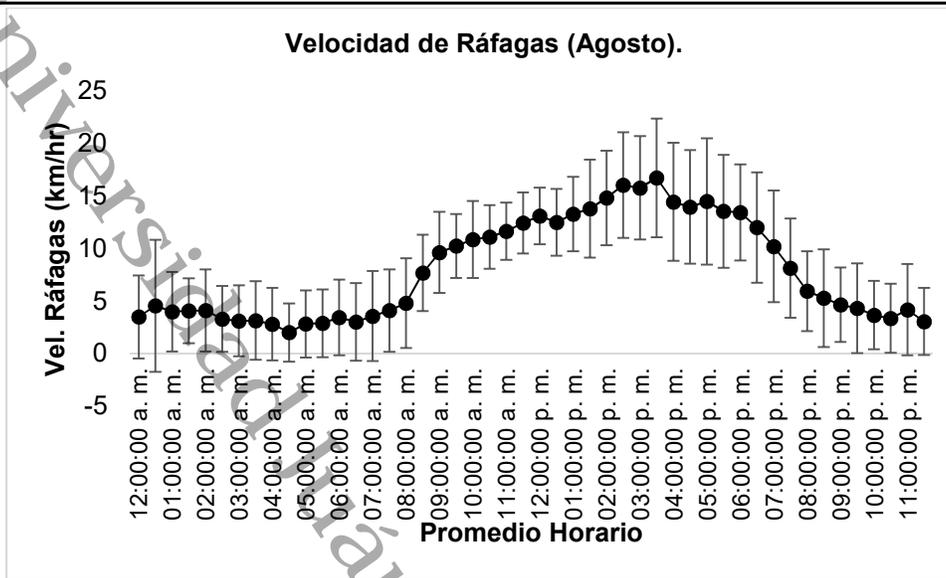


Figura 59.- Comportamiento de la velocidad de las ráfagas en promedio horario correspondiente al mes de Agosto. Se presentan valores promedios.

La velocidad de las ráfagas presente en ambos módulos para el mes de Septiembre, presentó un Mínimo de 3.7 km/hr, el valor promedio en ese mes fue de 7.8 km/h y se reportó un valor Máximo de 15.2 km/h. En figura 60, se presenta el comportamiento de la velocidad del viento en las horas del promedio horario, con su respectiva desviación estándar de los datos. Se tienen los índices de velocidad de las ráfagas más alto del día a partir de las 15:30 horas a las 16:30, los valores mínimos se reportan entre las 05:00 y 06:00 horas.

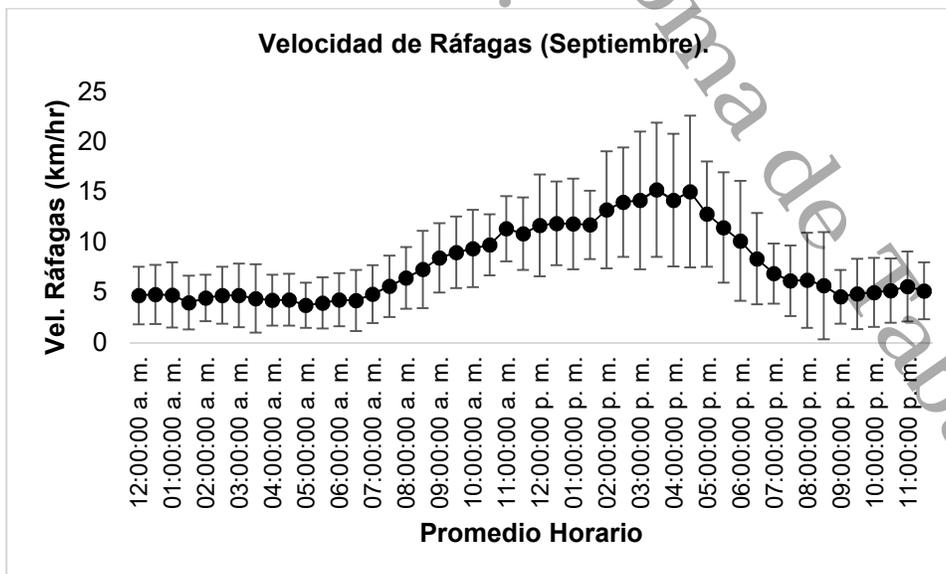


Figura 60.- Comportamiento de la velocidad de las ráfagas en promedio horario correspondiente al mes de Septiembre. Se presentan valores promedios.



9.2.3.- Análisis estadístico de las variables de Confort en los módulos.

Para el análisis de los datos se tomaron en cuenta los valores mínimos, promedio y máximos reportados para los tres meses de evaluación.

9.2.3.1.- Temperatura interna de los módulos

Análisis de varianza

La tabla ANOVA descompone la varianza de temperatura en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 9.06911, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0.05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de TEMPERATURA entre un nivel de TRATAMIENTO y otro, con un nivel del 95.0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, se presenta la Pruebas de Múltiples Rangos.

Tabla 15.- ANOVA para temperatura por tratamiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	117.096	1	117.096	9.07	0.0083
Intra grupos	206.584	16	12.9115		
Total (Corr.)	323.68	17			

Pruebas de Múltiple Rangos para temperatura por tratamiento

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. Se ha colocado un asterisco junto a 1 par, indicando que este par muestra diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 16.- Método: 95.0 porcentaje LSD

TRATAMIENTO	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MOD-2	9	24.6433	X
MOD-1	9	29.7444	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
MOD-1 - MOD-2	*	5.10111	3.59087

* indica una diferencia significativa.



Resumen estadístico

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de temperatura para cada uno de los 2 niveles de TRATAMIENTO. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. En la figura 61 se presenta gráficamente las medias.

Tabla 17.- Resumen Estadístico para temperatura

Table with 6 columns: Tratamiento, Recuento, Promedio, Desviación Estándar, Coeficiente de Variación, Mínimo. It contains data for MOD-1, MOD-2, and Total across two rows of statistics.

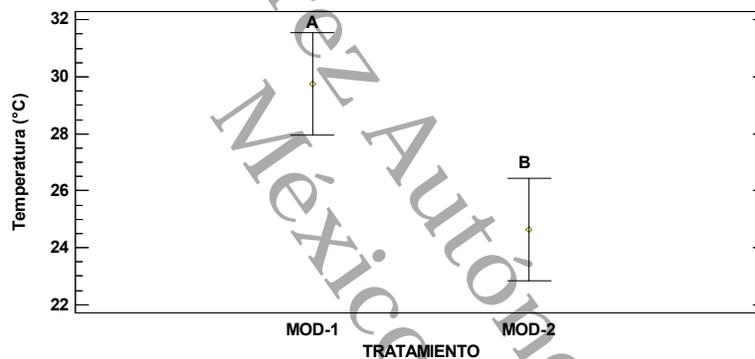


Figura 61.- Comparación de las medias con un 95% de LSD de Fisher. Las letras indican los tratamientos

9.2.3.2.- Humedad Relativa interna de los módulos

Análisis de varianza

La tabla ANOVA descompone la varianza de Humedad Relativa en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.205191, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Humedad Relativa entre un nivel de tratamiento y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla18.- ANOVA para Humedad Relativa por tratamiento

ANOVA table with 6 columns: Fuente, Suma de Cuadrados, GI, Cuadrado Medio, Razón-F, Valor-P. It shows results for 'Entre grupos' and 'Intra grupos'.



Pruebas de múltiple rangos para humedad relativa por tratamiento

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No hay diferencias estadísticamente significativas entre cualquier par de medias, con un nivel del 95.0% de confianza. En la parte superior de la página, se ha identificado un grupo homogéneo, según la alineación de las X's en columna. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 19.- Método: 95.0 porcentaje LSD

TRATAMIENTO	Casos	Media	Grupos Homogéneos
MOD1-HR	9	70.6	X
MOD2-HR	9	73.5889	X
Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
MOD1-HR - MOD2-HR		-2.98889	13.9877

* indica una diferencia significativa.

Resumen estadístico

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Humedad Relativa para cada uno de los 2 niveles de TRATAMIENTO. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. En la figura 62 se muestra gráficamente las medias.

Tabla 20.- Resumen Estadístico para Humedad Relativa

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coefficiente de Variación	Mínimo
MOD1-HR	9	70.6	14.4745	20.5022%	47.8
MOD2-HR	9	73.5889	13.5027	18.3488%	54.18
Total	18	72.0944	13.6659	18.9556%	47.8
Tratamiento	Máximo	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada	
MOD1-HR	88.6	40.8	-0.388771	-0.738741	
MOD2-HR	91.97	37.79	-0.191993	-0.80167	
Total	91.97	44.17	-0.420643	-1.00586	

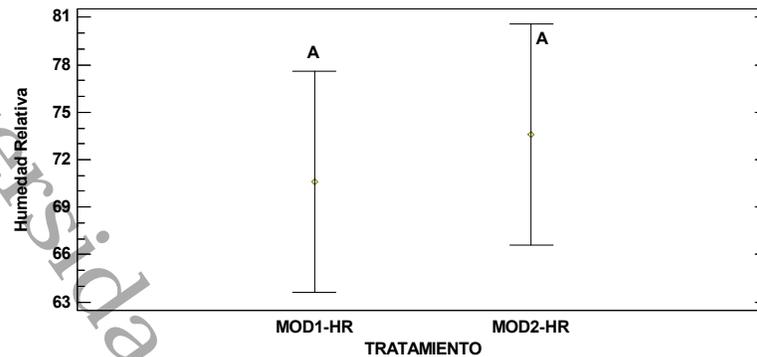


Figura 62.- Comparación de las medias con un 95% de LSD de Fisher. Las letras indican los tratamientos

9.2.3.3.- Temperatura externa de los módulos

Análisis de varianza

La tabla ANOVA descompone la varianza de Temperatura en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.98043, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Temperatura entre un nivel de Tratamiento y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 21.- ANOVA para Temperatura por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	11.3447	1	11.3447	0.98	0.3368
Intra grupos	185.138	16	11.5711		
Total (Corr.)	196.482	17			

Resumen estadístico

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Temperatura para cada uno de los 2 niveles de Tratamiento. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. En la figura 63 se muestra gráficamente las medias.

Tabla 21.- Resumen estadístico para temperatura

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente de Variación	Mínimo	Máximo
MOD1-TE	9	28.6333	3.75633	13.1187%	23.0	33.5
MOD2-TE	9	27.0456	3.00537	11.1122%	23.66	31.3
Total	18	27.8394	3.39968	12.2117%	23.0	33.5
Tratamiento	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada			
MOD1-TE	10.5	-0.00436486	-0.822614			
MOD2-TE	7.64	0.232086	-0.958809			
Total	10.5	0.372163	-1.00004			

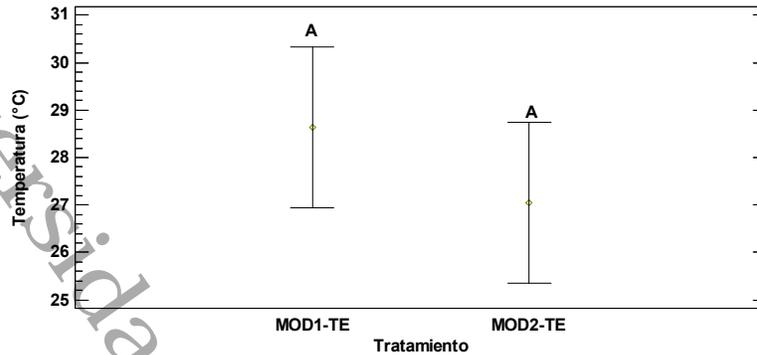


Figura 63.- Comparación de las medias con un 95% de LSD de Fisher. Las letras indican los tratamientos

9.2.3.4.- Humedad Relativa externa de los módulos

Análisis de varianza

La tabla ANOVA descompone la varianza de Humedad Relativa en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. La razón-F, que en este caso es igual a 0.860251, es el cociente entre el estimado entre-grupos y el estimado dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la razón-F es mayor o igual que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de Humedad Relativa entre un nivel de Tratamiento y otro, con un nivel del 95.0% de confianza.

Tabla 22.- ANOVA para Humedad Relativa por Tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	de Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	132.899	1	132.899	0.86	0.3674
Intra grupos	2471.83	16	154.489		
Total (Corr.)	2604.72	17			

Resumen estadístico

Esta tabla muestra diferentes estadísticos de Humedad Relativa para cada uno de los 2 niveles de Tratamiento. La intención principal del análisis de varianza de un factor es la de comparar las medias de los diferentes niveles, enlistados aquí bajo la columna de Promedio. En la figura 64 se muestran gráficamente las medias.

Tabla 23.- Resumen Estadístico para Humedad Relativa

Tratamiento	Recuento	Promedio	Desviación Estándar	Coficiente Variación	de	Mínimo	Máximo
MOD1-HRE	9	77.6667	13.0276	16.7737%		58.5	94.6
MOD2-HRE	9	83.1011	11.8009	14.2006%		65.64	98.71
Total	18	80.3839	12.3782	15.3988%		58.5	98.71



Tratamiento	Rango	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
MOD1-HRE	36.1	-0.258044	-0.878514
MOD2-HRE	33.07	-0.415406	-0.765724
Total	40.21	-0.504825	-1.01944

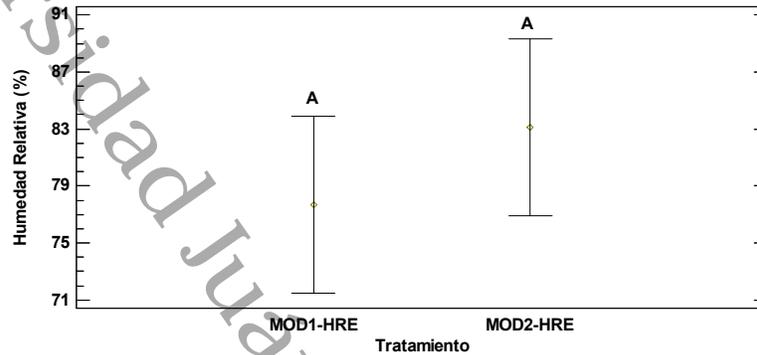


Figura 64.- Comparación de las medias con un 95% de LSD de Fisher. Las letras indican los tratamientos

9.3.- Condiciones térmicas de confort establecido en la norma NMX-020-ENER-2011.

El espesor y el orden de las capas del sistema propuesto se presentan en la tabla x, donde se analiza la eficiencia térmica en ambos módulos, siendo para el módulo 2 una U=0.1666, mientras que para el módulo 1 U=0.2825, dichos cálculos se presentan en las tablas 13, 14 y 15.

Tabla 24.- Calculo térmico en edificios Modulo 2.

$$U = \frac{1}{1/h_e + e_n/k_n + \dots + 1/h_i} \quad (8)$$

Donde:

- hi Coeficiente convección del aire interior.
 - he Coeficiente convección del aire exterior. (34.06 w/hm² °C).
 - en Espesor del material (por cada capa).
 - kn Coeficiente de conductividad térmica (w/hm² °C).
- he= 17.03 (w/hm² °C).
hi= 9.36 (w/hm² °C).

Fuente: NOM-020-ENER-2011



Tabla 25.- Calculo térmico en edificios Modulo 2.

Sustituyendo la ecuación tenemos:

Sustitución de valores en la ecuación para el cálculo térmico en edificios (8) (modulo 2)

$$U = \frac{1}{1/17.03 + 0.05/0.630 + 0.04/0.045 + 0.04/0.630 + 0.05/0.035 + 1.35/0.040 + 1/9.36}$$

$$U = \frac{1}{0.058 + 0.079 + 0.888 + 0.063 + 1.428 + 3.375 + 0.1068}$$

$$U = \frac{1}{5.9978}$$

$$U = 0.1666$$

NOTA: Se tiene como observación que a mayor espesor de las capas, disminuye la conductividad térmica.

Fuente: NOM-020-ENER-2011

Tabla 26.- Calculo térmico en edificios Modulo 1.

Sustitución de valores en la ecuación para el cálculo térmico en edificios (8) (modulo 1)

$$U = \frac{1}{1/17.3 + 1.35/0.040 + 1/9.30}$$

$$U = \frac{1}{0.058 + 3.375 + 0.1068}$$

$$U = \frac{1}{3.5398}$$

$$U = 0.2825$$

NOTA: Se tiene como observación que en losa del sistema covintec, la conductividad térmica es más elevada en relación al módulo 2.

Fuente: NOM-020-ENER-2011

El prototipo del sistema multicapa que se colocará en la cubierta del módulo 2 será fabricado de la siguiente manera:

Tabla 27.- Fabricación del Sistema Multicapa.

No. Capa	Material con que se fabricará	Espesor mts	Conductividad térmica (k) (λ) (W/m°C)
1er capa	Poliestireno reciclado el cual será fraccionado a una granulometría de 1/8".	0.05	0.035
2da. Capa	Mortero a base de cemento arena prop. 1:4 para dar estabilidad a la colocación de la 2da. capa	0.04	0.630



3er. Capa	Fibra vegetal (viruta) encapsulada en bolsas de polietileno transparente. Dimensión de los bloques es de 0.10 x 0.10 x 0.04.	0.04	0.045
4ta. Capa	Mortero a base de cemento arena prop. 1:4.	0.05	0.630
5ta. capa	Losa de panel w que recibirá el sistema.	0.135	0.040
Fuente:	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE, 2013). Manual Técnico de Covintec, 2011, https://www.panelcovintec.com		

9.4.- Análisis estructural de las unidades experimentales.

Tabla 28.- Carga y peso estructural del sistema multicapa.

Material empleado	Espesor m	Peso Específico (kg/m ³)	Peso Específico (kg/m ²)
Poliestireno reciclado el cual será fraccionado a una granulometría de 1/8".	0.05	(12 a 17 kg/m ³)	0.85 k/m ²
Mortero a base de cemento arena prop. 1:4 para dar estabilidad a la colocación de la 2da. capa	0.04	(2100 kg/m ³)	84 kg/m ²
Fibra vegetal (viruta) encapsulada en bolsas de polietileno transparente. Dimensión de los bloques es de 0.10 x 0.10 x 0.04.	0.04	(180 kg/m ³)	7.2 kg/m ²
Mortero a base de cemento arena prop. 1:4.	0.05	(2100 kg/m ³)	84 kg/m ²
Suma del peso específico total del prototipo			176.05 kg/m ²
Losa de panel w, soporta una carga estructural de:	788 kg/m ²		

NOTA:

El prototipo solo ocupa el 22.34% por m², del total de lo que soporta el panel "W"

Fuente: Manual Técnico de COVINTEC, 2011. <https://www.panelcovintec.com>

Fuente: Pesos específicos materiales de construcción, https://www.academia.edu/22887061/PESOS_ESPECIFICOS_DE_MATERIALES_DE_CONSTRUCCION, última consulta 09/02/2017

9.5.- Análisis financiero de la unidad experimental.

9.5.1.- Análisis de precios unitarios del prototipo y similares

A continuación se presentan los análisis de precios unitarios del sistema multicapa propuestos y el de dos similares a él. Donde se puede apreciar la diferencia de precios entre ellos siendo el más bajo el del prototipo.



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental



Tabla 29.- Análisis del Precio Unitario del Sistema Multicapa.

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
Sistema multicapa a base de poliestireno, mortero y viruta encapsulada				
MATERIALES				
Mortero	m ³	0.10	875.00	\$ 87.50
Poliestireno	Kg	0.85	35.00	\$ 29.75
Viruta	Kg	7.20	5.00	\$ 36.00
Bolsa de plástico	Kg	0.35	3.50	\$ 1.23
Subtotal materiales				\$ 154.48
MANO DE OBRA				
Cabo de oficios	Jor	0.10	2 100.00	\$ 210.00
Obrero general	jor	1.00	1 650.00	\$ 1 650.00
importe				\$ 1 860.00
rendimiento		0.02		\$ 7.20
Herramienta manual	%(m.o.)	0.03		\$ 1.12
Equipo y ropa de seguridad	%(m.o.)	0.02		\$ 0.74
Subtotal de MANO DE OBRA				\$ 39.06
EQUIPO				
camioneta de 3/4 ton cap.	hora	0.03	197.50	\$ 4.94
Subtotal de EQUIPO				\$ 4.94
COSTO DIRECTO				\$ 198.47
Sistema formular a base de aislante térmico de poliestireno extruido.				
MATERIALES				
Foamular de 2" espesor	Pza	0.34	659.47	\$ 224.22
Cemento (50 kgs)	Bulto	0.15	115.00	\$ 17.25
Arena (50 kg.)	Bulto	0.98	25.68	\$ 25.17
Malla (1.50 x 0.45)	rollo	0.02	1,105.50	\$ 22.11
Subtotal materiales				\$ 288.75
MANO DE OBRA				
Cabo de oficios	Jor	0.10	2 100.00	\$ 210.00
Obrero general	jor	2.00	1 650.00	\$ 3 300.00
importe				\$ 3 510.00
rendimiento		0.02		\$ 70.20
Herramienta manual	%(m.o.)	0.03		\$ 2.10
Equipo y ropa de seguridad	%(m.o.)	0.02		\$ 1.40
Subtotal de MANO DE OBRA				\$ 73.71
EQUIPO				
camioneta de 3/4 ton cap.	hora	0.05	197.50	\$ 9.88
Subtotal de EQUIPO				\$ 9.88
COSTO DIRECTO				\$ 372.33
Sistema multitecho ternium de 2" espesor, con núcleo de espuma rígida de poliuretano (panel ternium).				
descripción	unidad	cantidad	costo	importe
MATERIALES				
panel ternium de 2" espesor	Pza	0.50	850.00	\$ 425.00



UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO

DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

Maestría en Ingeniería y Protección Ambiental



Concepto	Unidad	m ²		
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo	Importe
canal monten de 4" cal. 14 A-36	Pza	0.35	675.00	\$ 236.25
pijas 1/4" x 2"	Pza	2.00	8.00	\$ 16.00
pija autoroscable de 1/4" x 3/4" c/arandela plástica	Pza	2.00	5.50	\$ 11.00
adhesivo lastomay en espuma	bote	0.15	90.00	\$ 13.50
Subtotal materiales				\$ 154.48
MANO DE OBRA				
Cabo de oficios	Jor	0.10	2 200.00	\$ 220.00
Obrero general	jor	2.00	1 650.00	\$ 3 400.00
importe				\$ 3 620.00
rendimiento		0.025		\$ 90.50
Herramienta manual	%(m.o.)	0.03		\$ 2.72
Equipo y ropa de seguridad	%(m.o.)	0.02		\$ 1.81
Subtotal de MANO DE OBRA				\$ 95.03
EQUIPO				
camioneta de 3/4 ton cap.	hora	0.03	197.50	\$ 6.91
Subtotal de EQUIPO				\$ 6.91
COSTO DIRECTO				\$ 803.69
Sistema foamular a base de aislante térmico de poliestireno extruido.				
MATERIALES				
Foamular de 2" espesor	Pza	0.34	659.47	\$ 224.22
Cemento (50 kgs)	Bulto	0.15	115.00	\$ 17.25
Arena (50 kg.)	Bulto	0.98	25.68	\$ 25.17
Malla (1.50 x 0.45)	rollo	0.02	1,105.50	\$ 22.11
Subtotal materiales				\$ 288.75
MANO DE OBRA				
Cabo de oficios	Jor	0.10	2 100.00	\$ 210.00
Obrero general	jor	2.00	1 650.00	\$ 3 300.00
importe				\$ 3 510.00
rendimiento		0.02		\$ 70.20
Herramienta manual	%(m.o.)	0.03		\$ 2.10
Equipo y ropa de seguridad	%(m.o.)	0.02		\$ 1.40
Subtotal de MANO DE OBRA				\$ 73.71
EQUIPO				
camioneta de 3/4 ton cap.	hora	0.05	197.50	\$ 9.88
Subtotal de EQUIPO				\$ 9.88
COSTO DIRECTO				\$ 372.33

9.5.2.- Corrida financiera.

Se presenta una tabla comparativa del impacto en costos que tendrían el prototipo y sus similares en una casa-habitación, una bodega y un edificio de oficinas. Donde se refleja un ahorro significativo si se implementara el sistema multicapa diseñado.



Tabla 30.- Análisis comparativo del costo de implementación de diferentes sistemas.

Descripción	Tipo de obra	Unidad	Área de obra (m ²)	Importe	Total
Sistema multicapa a base de poliestireno, mortero y viruta encapsulada	Casa-habitación	M ²	80.00	\$ 198.47	15,877.60
Sistema foamular a base de aislante térmico de poliestireno extruido.	Casa-habitación	M ²	80.00	\$ 372.33	29,786.40
Sistema multitecho ternium de 2" espesor, con núcleo de espuma rígida de poliuretano (panel ternium).	Casa-habitación	M ²	80.00	\$ 803.69	64,295.20
Sistema multicapa a base de poliestireno, mortero y viruta encapsulada	Bodega	M ²	1 600.00	\$ 198.47	317,552.00
Sistema foamular a base de aislante térmico de poliestireno extruido.	Bodega	M ²	1 600.00	\$ 372.33	595,728.00
Sistema multitecho ternium de 2" espesor, con núcleo de espuma rígida de poliuretano (panel ternium).	Bodega	M ²	1 600.00	\$ 803.69	1,285,904.00
Sistema multicapa a base de poliestireno, mortero y viruta encapsulada	Edificio de oficinas	M ²	1 000.00	\$ 198.47	198,470.00
Sistema foamular a base de aislante térmico de poliestireno extruido.	Edificio de oficinas	M ²	1 000.00	\$ 372.33	372,330.00
Sistema multitecho ternium de 2" espesor, con núcleo de espuma rígida de poliuretano (panel ternium).	Edificio de oficinas	M ²	1 000.00	\$ 803.69	803,690.00



9.6.- Discusiones.

El prototipo del sistema de cubierta multicapa (mortero, fibra vegetal y poliestireno), cumple con criterios de diseño y construcción de la norma NMX-020-ENER-2011, en el cual se establece la conductividad térmica de los materiales, la cual en el caso de nuestro sistema fue de 0.1666 y mayor a 0.2881 en el sistema COVINTEC, y en el caso de esta norma se establece que la conductividad no debe ser mayor a 0.2685.

Al evaluar el prototipo experimental multicapa, se monitorearon parámetros de confort como temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. La temperatura es el principal parámetro de confort, para el cual Fuentes (2017), establece que para el caso de Tabasco el rango debe estar entre el 23.6 y 28.6 °C, estos valores de temperatura son importantes para el cuerpo humano, pues este debe mantener un rango de 36.5 a 37.5 °C, partiendo de ahí el diagrama bioclimático para edificios de Givoni Baruch reproducido por Jiménez (1984), establece que el rango de comodidad térmica es de 22° a 28° C.

La temperatura del aire (TA), es el factor que más influye de manera directa sobre el bienestar, la velocidad del viento (VV) aumenta la disipación de la energía por evaporación y convección siempre que la temperatura de la piel sea menor a la del aire, y cuando se tienen temperaturas arriba de 40°C el viento aumenta la sensación de calor. Para el caso del sistema multicapa de este trabajo, la temperatura interna (dentro del prototipo) se presentó en 24.64±2.82 °C, en cuanto al sistema COVINTEC se presentó 29.74±4.23 °C, y la temperatura sobre la losa fue de 27.04±3.00 °C, en cuanto al sistema COVINTEC se presentó 28.63±3.75 °C, las temperaturas máximas se reportan en 30.5 °C en rango de tres horas (15:00 a 18:00 horas). Dichos resultados sobre la superficie de la losa son inferiores a los reportados por Veccia y Castañeda (2006), en el cual analizaron el efecto de la temperatura sobre la superficie de techo de cerámica, en el cual la temperatura fue superior a 30°C por más de 8 horas, el techo de fibrocemento presentó temperaturas superiores a 30°C por más 11 a 17 horas. La radiación solar (R), en toda la fase experimental se comportó con un valor promedio de 0.6 W/m².

La humedad (H), que regula la evaporación y desempeña un rol muy importante en las altas temperaturas, siendo la sudoración en el ser humano, el mecanismo natural de enfriamiento, puede presentar límites extremos pues por debajo del 20% nos ocasiona disconfort, resequedad en la mucosa lo cual provoca los peligros de una infección; cuando esta humedad pasa el 60% y sobre todo el 80% aumenta la sensación de calor y mucho bochorno, aquí se produce el sudor pero no la evaporación. Para el caso del sistema multicapa propuesto por ser un prototipo



cerrado no presentó mejoría en este parámetro, pues la humedad relativa se presenta en 73.59 ± 13.50 %, mientras en el sistema COVINTEC 72.09 ± 13.66 %. Muchas veces la temperatura en el ambiente puede permanecer constante, pero cuando la humedad relativa fluctúa entre el 30% y el 70%, el ser humano es sensible a estos cambios. Si el aire está muy seco, habrá una sensación térmica fría, obligando a nuestro metabolismo a aprovechar el vapor de la sudoración y así refrescar nuestra piel, es decir que cuando menor sea la humedad, se evaporará más fácil el sudor, si la humedad es del 100%, significa que el aire está muy saturado y por ende no habrá evaporación (H2TEK, 2015).

10.- CONCLUSIONES.

El prototipo de losa de cubierta multicapa (mortero, fibra vegetal y poliestireno) cumple con criterios de diseño y construcción de la norma NOM-020-ENER-2011.

El prototipo experimental de cubierta es más eficiente en la disminución de temperatura interior 24.64 ± 2.81 que la losa del sistema CONVINTEC, (29.74 ± 4.22), sin embargo no existe una disminución en la humedad relativa interior (70-73%).

Se cumple con lo establecido en la norma NOM-020-ENER-2011 referente a la conductividad térmica, la cual establece para techos en Tabasco una conductividad de $0.526 \text{ W/m}^2\text{K}$, y el valor obtenido en el sistema fue de $0.166 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Al analizar la carga del peso estructural del sistema de cubierta sobre la losa COVINTEC, el prototipo solo ocupa el 22.34% por m^2 , del total de lo que soporta el panel "W".

Al analizar el costo de implementación del sistema de cubierta multicapa en relación a otros sistemas comerciales, se obtuvo que el costo por m^2 es de \$198.47, mientras que para el sistema Foamular a base de aislante de poliestireno extruido fue de \$372.33 y finalmente el sistema multitecho Ternium fue de \$803.69.

Por lo que se concluye que es muy viable el sistema multicapa propuesto para su implementación en las construcciones de ciudades con climas tan calurosos como el nuestro.



11.- BIBLIOGRAFIA

- American Society of Heating Refrigerating and Air Conditions Engineer (ASHRAE), Norma ANSI/ASHRAE 55-2010 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, págs. 5-15, (2010).
- Arceli Javier, Monografía Dinámica de Sistemas, publicaciones de Ingeniería de Sistemas, ISFEDE, págs. 7-12 (2011).
- Constitución de la organización mundial de la salud, Nueva York, Estados Unidos 45a edición, (2006)
http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_sp.pdf, consultado 26/05/2017.
- Begoña Blasco Lafton et all, Fundamentos Físicos en la Edificación II, editorial Publicaciones Delta, pág. 170 (2007).
- Castañeda Nolasco Gabriel, Revista de la Construcción, vol. 9, No. 1, págs.. 81-88, (2010).
- División de Ciencias y Artes para el diseño, Depto. Del Medio Ambiente, Confort Capitulo 5, pág. 58-63 <http://www.ffvac@correo.azc.uam.mx>, consultado 16/04/2017.
- Donald R. Drew, Monografía Dinámica de Sistemas Aplicada, publicaciones de Ingeniería de Sistemas, ISFEDE, págs. 14-24 (1995).
- Fariña, Tojo José, "La Ciudad y el Medio Natural", ediciones Akal, S.A. de C.V., 3ra. Edición, Mostoles, Madrid, pág. 58-60 (2007).
- Fajardo Velazco Luis Francisco. 2005. Desempeño costo beneficio de dos sistemas pasivos de climatización en cubiertas de climas cálidos subhúmedos. Caso Coquimatlán, Colima. Tesis de Maestro en Arquitectura. Universidad de Colima. Facultad de Arquitectura y Diseño.
- Fernández García Felipe. 1994. CLIMA Y CONFORTABILIDAD HUMANA. ASPECTOS METODOLÓGICOS. Serie Geográfica, Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid, vol. 4, pp. 109-12.
- Fuentes, Freixanet Víctor Armando. 2017. "Arquitectura Bioclimática", Ed. Universidad Autónoma Metropolitana, pág. 9-19, 24, 25, 26, 58-64.75-82.
- Francisco Vecchia y Gabriel Castañeda Nolasco. (2006). Estudio de la reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas. Revista Ingeniería, 10-1, pp.17-23. ISSN: 1665-529X. <http://www.redalyc.org/html/467/46710102/>
- García Chávez, J. R., J. J. Ambriz y H. Romero, "Determinación del umbral de las condiciones de confort higrotérmico y su relación con el movimiento de aire". COTEDI. Confort y eficiencia energética en arquitectura. México, D.F., 23-27 de mayo. Pp. 215-220. (2005)
- García, Rivero José Luis, "Manual Técnico de Construcción, 4ta. Edición, Cementos Apasco, S.A. de C.V., Editorial Fernando Porrúa, pag. 14-29, 36-43, 44-61, 62-109, 165-169, 186-191, 198-207, 216, 217. (2008).
- Givoni, B. Man, Climate and Architecture. Applied Sciences Publishers, 1969.
- Givoni, B. Climate considerations in building and urban design. John Wiley and Sons, Inc., 1998.
- Hassan Arhman, Valoración de la Respuesta Térmica en Edificios, la Repercusión Dinámica de la Envolvente, www.tesisenred, págs. 10-12, (2005).



- Hobo micro Station User's Guide, Assembly and operation, Part No. H21-002, Doc No. 7645-E, <http://www.onsetcomp.com>, consultado 13/10/2015.
- H2TEK. 2015. Soluciones integrales. <http://www.h2otek.com/blog/humedad-relativa-ideal-para-el-ser-humano/>. Consulta 13/06/2017.
- Jiménez, Álvarez E. (1984): El clima de España y la arquitectura solar. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 2 vols.
- Kurt C. Rolle, Thermodynamics and Heat Power, 6ta. Edición, Editorial Prentice Hall México, págs. 2, 40, 58, 65, 67, 91, 93, 96, 115, 118 (2006).
- Lacomba, Ruth, "Manual de Arquitectura Solar", edit. Trillas, México, D.F., pág. 25,26, (1991).
- Manual Técnico de COVINTEC, Pág. 3-6, 8,9 14, 25-37, <http://www.panelcovintec.com>, consultado 07/01/2015.
- Manual de Termodinámica, Instituto Nacional de Capacitación Profesional (INACAP), www.inacap.cl/data/sede_virtual/ayudantias/Termodinamica/ (2011).
- Martínez, R. y Velasco G. (2006), Eficiencias energéticas en Edificios, España, pag. 115
- Morillón Gálvez David, Bioclimática, "Sistemas Pasivos de Climatización", Ed. Universidad de Guadalajara, capitulo 2, 4 (2002). <https://es.scribd.com/doc/87327291/INTRODUCCION-A-LOS-SISTEMAS-PASIVOS-DE-ENFRIAMIENTO>, consultado 20/11/2016.
- Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia Energética en Edificaciones, Envoltentes de Edificios no Residenciales, www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/15/NOM008ENER2001.pdf, última consulta 20/05/2013, www.economia-noms.gob.mx
- Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-1993, Sistema General de Unidades y Medidas, www.inecc.gob.mx/descargas/publicaciones/008-scfi.pdf, última consulta 21/05/2013.
- Norma Oficial Mexicana NM-018-ENER-1997, Aislantes Térmicos para Edificaciones, Características, Límites y Métodos de Prueba, www.sener.gob.mx/res/Acerca_de/nom018ener-1997.pdf, última consulta 21/05/2013.
- Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, Industria De La Construcción–Aislamiento Térmico–Valor “R” Para Las Envoltentes De Vivienda Por Zona Térmica Para La República Mexicana-Especificaciones y Verificación, www.ahorroenergia.org.mx/, última consulta 22/05/2013.
- NOM-020-ENER-2011, Eficiencia Energética En Edificaciones.-Envoltente De Edificios Para Uso Habitacional www.dof.gob.mx/, última consulta 24/05/2013.
- Olgay, Víctor, 1998. "Design With Climate", Princeton University Press. Princeton, U,S, A. 1963.Cf. Traducido al español como: Arquitectura y Clima Editorial Gustavo Gili. 1998, pág. 15-22, 32-35.
- Panero, Julius y Zelnik, Martin. "Las Dimensiones Humanas en los Espacios Interiores, Estándares Antropométricos", Editorial Gustavo Gili, S.A. de C.V., publicado por Watson-Guptill, Publicación Nueva York, U.S.A., pag. 23-35, 43-45, 57-64, 73-82, 73, 83 (1996).



- Peña Paulo, Vivienda de Bajo Consumo Energético Térmico, Comunicaciones, Consejo Superior de Investigación Científica (CSIC), págs. 155-158 (2009). digital.csic.es/bitstream/10261/24133/1/vivienda.pdf
- Rey Martínez Francisco Javier; Velasco Gómez Eloy, 2006. Eficiencia Energética en Edificios: Certificación y Auditorías Energéticas. Editorial S.A. EDICIONES PARANINFO, 330 págs. ISBN: 9788497324199.
- Rojas Jorge, Energía y Confort en Edificaciones, Revista Digital Universitaria UNAM, vol. 11, No. 10, págs.1-17 (2010).
- Salamanca Julio Eduardo, Análisis y Propuestas de Mejoras de la Envoltura Térmica para Vivienda Población San Maximiliano Kolbe en Osorno, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmficis159a/doc/bmficis159a.pdf, (2011)
- Serra, Fonseca Rafael y Coch, Roura Helena, Arquitectura y Energía Edición de la Universidad Politécnica de Catalunya, S.L., pág. 44 (1995).
- Holman, J.P., "Transferencia de calor", Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., México, D.F., McGraw Hill Book Company, INC., pág. 18, 19 (1999).
- Silvia Mecott Gómez, Vivienda Bioclimática con Paneles Modulares de Ferrocemento y Materiales Aislantes Alternativos para la Ciudad de Oaxaca, Oax., Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, biblioteca.universia.net/.../params/.../vivienda-bioclimatica-paneles-modu..., (2007).
- Sokolay, Steven, "Passive and Low Energy design for Thermal and Visual Comfort, passive and Low Energy Ecothechniques Applied to Housing", Pergamon Press, New York, U.S.A., pag. 61, 62, 63 (1984).
- Vecchia, Francisco y Castañeda Nolasco Gabriel, Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas Ingeniería, vol. 10, núm. 1, Universidad Autónoma de Yucatán México, Revista Redalic, pp. 17-23, 2006
<http://www.arq-bioclimatica.com/index.php?option=com-phocadownload&view>, consultado 18/03/2017.
- www.conavi.gob.mx
- www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/.../juanjoseambriz.pdf, págs. 1-6, (2009).
<https://es.climate-data.org/location/44953/>, consultado 07/02/2017.
<https://es.climate-data.org/location/44953/>
- https://www.colmex.mx/assets/pdfs/21-Reg_LOPSRM_68.pdf?1493134372
(reglamento de la Ley de Obras Públicas y servicios Relacionadas con la misma), pag. 195-105, consultado 21/03/2017.
- <http://mx.ternium.com/productos/ternium-multypanel-mx/>, consultado 20/04/2017
- <http://www.acerored.com/foamular.aspx>, consultado 28/04/2017



12.- ANEXOS.

Anexo 1. Memoria Fotográfica



65.- Construcción de módulos experimentales



66.- Construcción de módulos experimentales



67.- Construcción de la rasante del sistema multicapa



68.- Construcción de la rasante del sistema multicapa



69.- Construcción de la rasante del sistema multicapa



70.- Construcción de la rasante del sistema multicapa



71.- Construcción del sistema multicapa



72.- Material de la 1era. Capa (poliestireno)



73.- Colocacion de la 1era. Y 2da. Capa (poliestireno y mortero)



74.- Colocacion de la 1era. Y 2da. Capa (poliestireno y mortero)



75.- Material de la 3ra capa (viruta de madera de pino)



76.- Encapsulado del material



77.- Almacenamiento del material



78.- Colocacion de la 3ra. Y 4ta. Capa (viruta encapsulada y mortero)



79.- Colocacion de la 3ra. Y 4ta. Capa (viruta encapsulada y mortero)



80.- Colocacion de la 3ra. Y 4ta. Capa (viruta encapsulada y mortero)



81.- Colocacion de la 3ra. Y 4ta. Capa



82.- Los dos modulos terminados para el experimento



83.- Calibracion y colocacion de instrumentos (microestacion)



84.- Calibracion y colocacion de instrumentos (data logger)



85.- Sensor para medir la temperatura ambiental interior y exterior, colocado a la microestacion.



86.- Microestacion



87.- Colocacion de instrumentos



88.- Colocacion de instrumentos



89.- Sensor para medir emperatura de la superficie interior y exterior, colocado a la microestacion



90.- Equipo data logger



91.- Sensor para medir emperatura de la superficie interior y exterior, colocado al equipo data logger.



92.- Sensor para medir emperatura de la superficie interior y exterior, colocado al equipo data logger.



93.- Piranometro colocado a la microestacion para medir radicacion.



94.- Colocacion de instrumentos en la superficie exterior de los modulos



95.- Fijacion del piranometro



96.- Colocacion de veleta y sensor para medir velocidad y direccion del viento direccionado a la microestacion



97.- Orientacion de la veleta para medir velocidad y direccion el viento (hacia el norte, señala el manual)



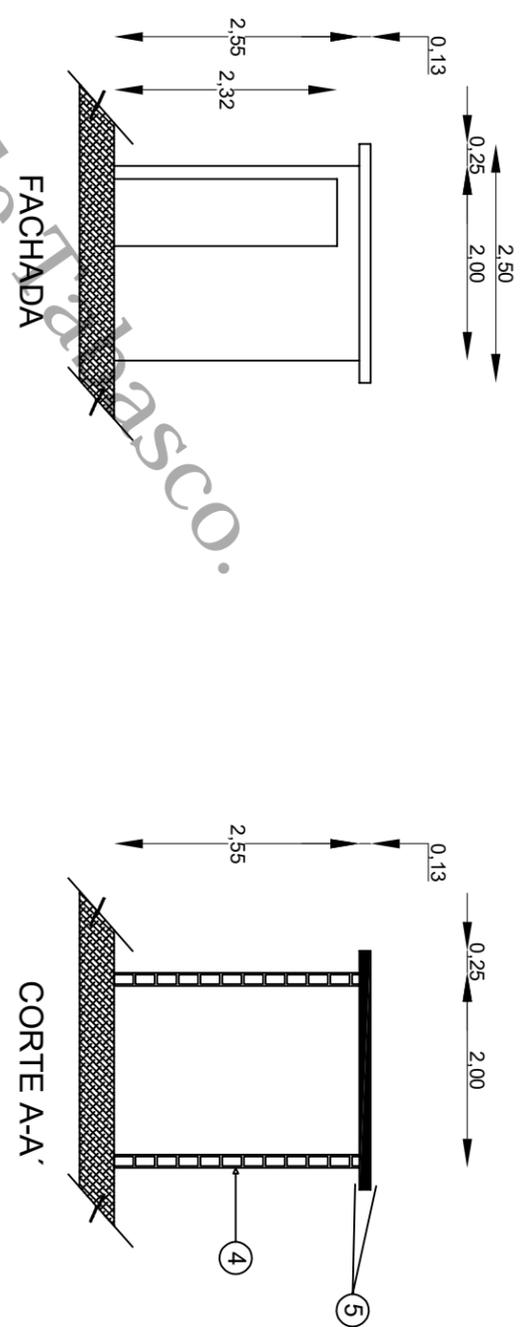
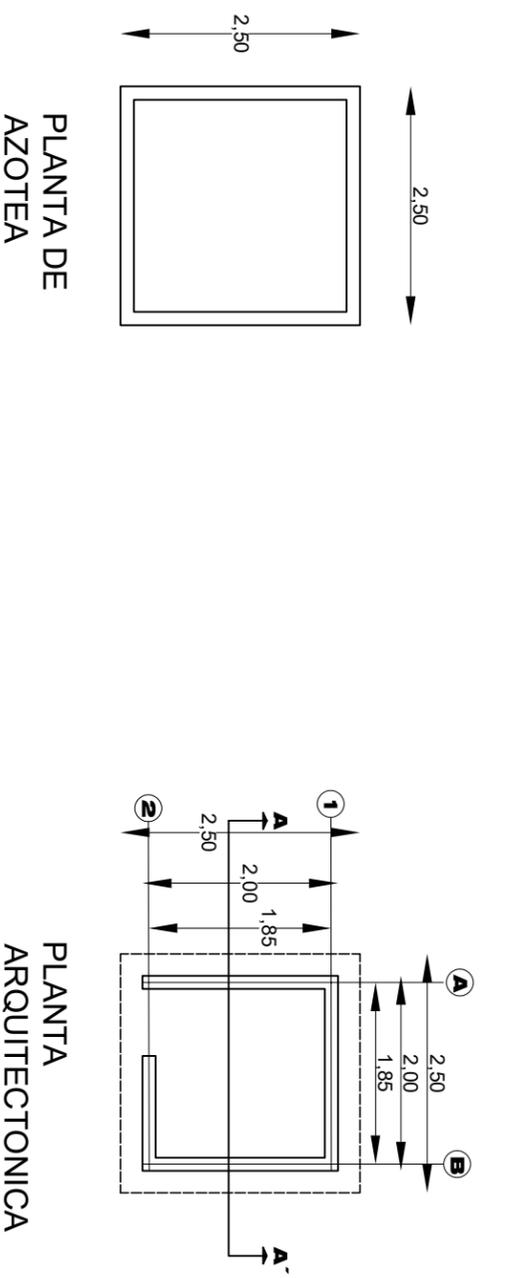
98.- Modulo 1 y modulo 2



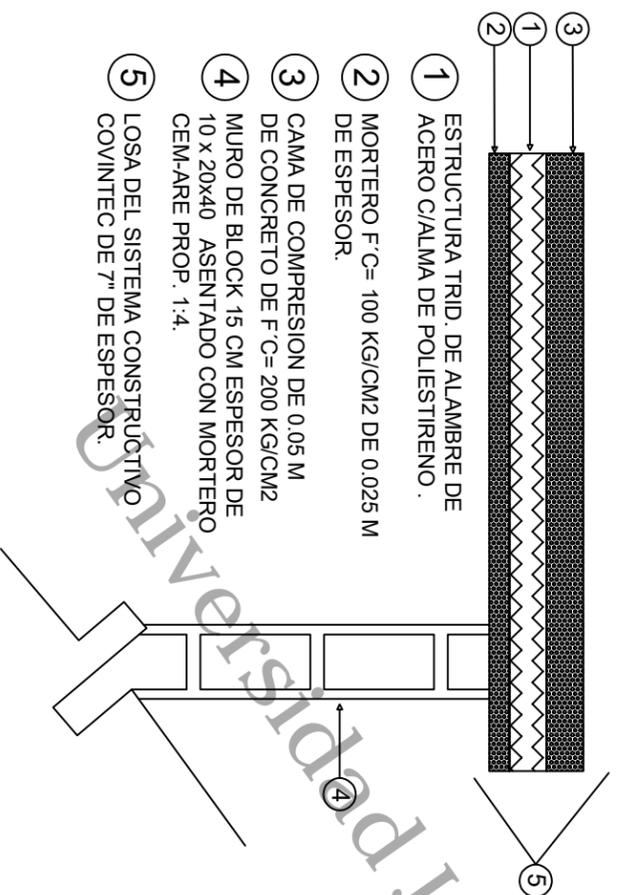
Anexo 2. Planos de las unidades experimentales

Clave de plano: PARQ-01. PROYECTO ARQUITECTÓNICO DEL MODULO 1, SIN EL SISTEMA MULTICAPA.

Clave de plano: PARQ-02. PROYECTO ARQUITECTÓNICO DEL MODULO 1, CON EL SISTEMA MULTICAPA.

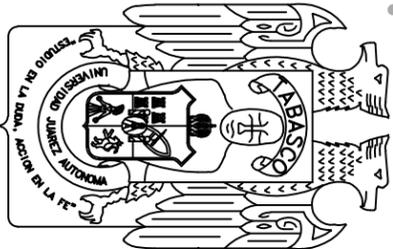


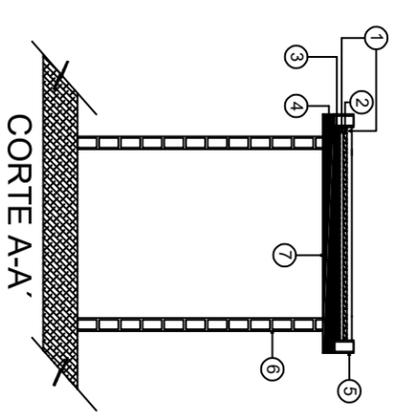
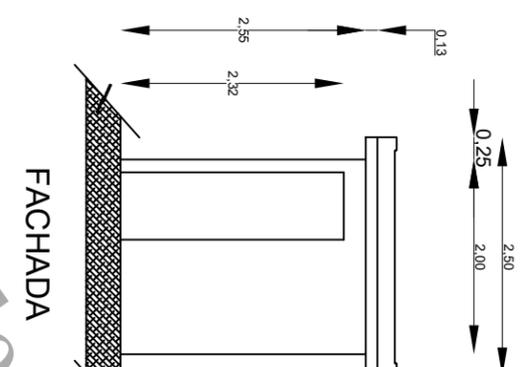
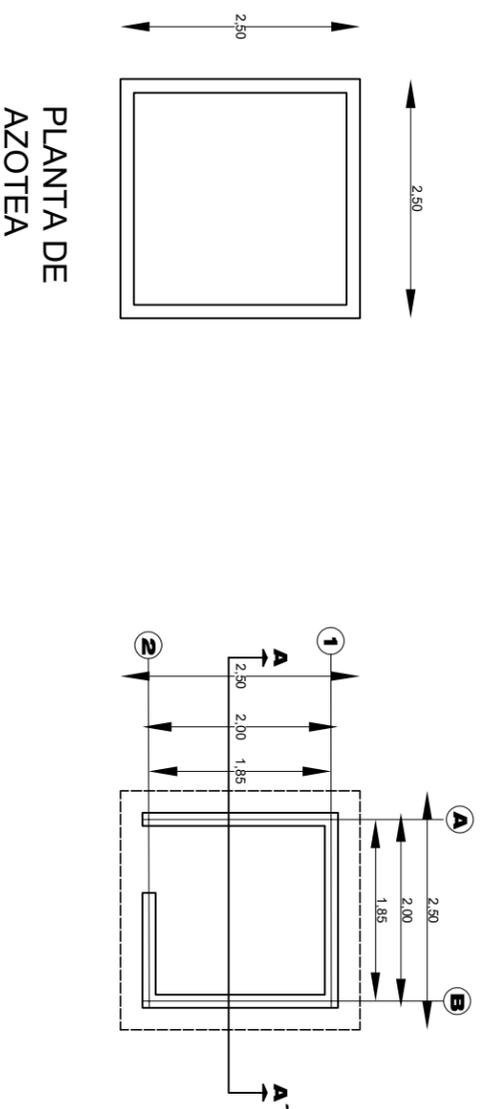
MODULO 1



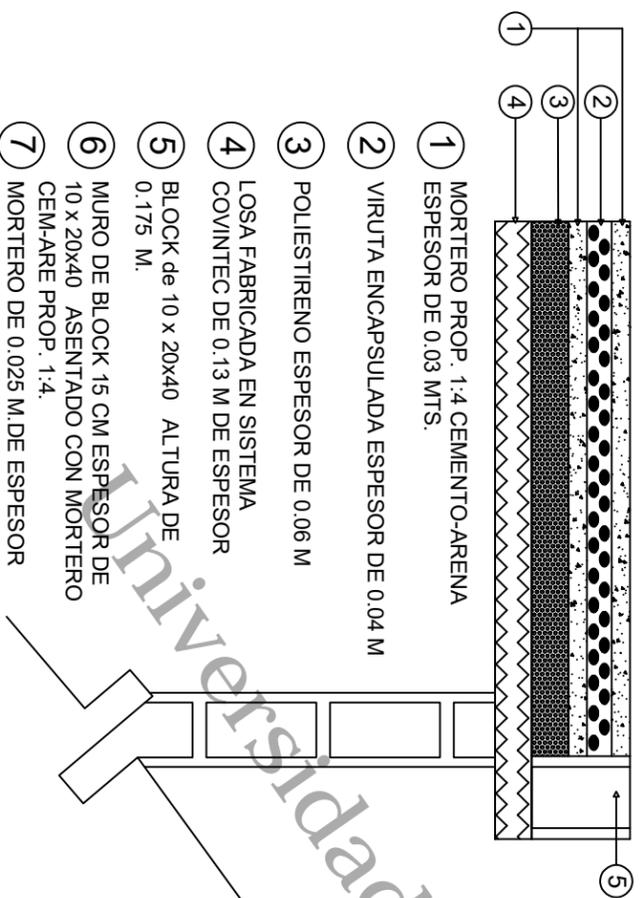
- ① ESTRUCTURA TRID. DE ALAMBRE DE ACERO C/ALMA DE POLIESTIRENO.
- ② MORTERO F.C= 100 KG/CM2 DE 0.025 M DE ESPESOR.
- ③ CAMA DE COMPRESION DE 0.05 M DE CONCRETO DE F.C= 200 KG/CM2
- ④ MURO DE BLOCK 15 CM ESPESOR DE 10 x 20x40 ASENTADO CON MORTERO CEM-ARE PROP. 1:4.
- ⑤ LOSA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO COVINTEC DE 7" DE ESPESOR.

DETALLE 1 LOSA DE COVINTEC

		UNIVERSIDAD JUAREZ AUTONOMA DE TABASCO DIVISION ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS	
		PROYECTO: TESIS DE MIPA	PLANO: PROYECTO ARQUITECTONICO DE MODULO 1, SIN EL SISTEMA MULTICAPA
MUNICIPIO: CUNDUACAN, TAB.		MUNICIPIO: JUNIO DEL 2017.	
PROYECTO: ARQ. XOCHILT CORNELIO RODRIGUEZ.		DR. RAUL GERMAN BAUTISTA MARGULLIS PRESIDENTE	
REVISO: DR. GASPAR LOPEZ OCAÑA.		DR. ENA EDITH MATA ZAYAS SECRETARIO	
DIBUJO: MAXIMILIANO R. BERISTAIN CORNELIO		CLAVE DEL PLANO: PARQ-01	
ESCALA: 1:75	ACOTACION: METROS	No. DEL PLANO: 1/2	



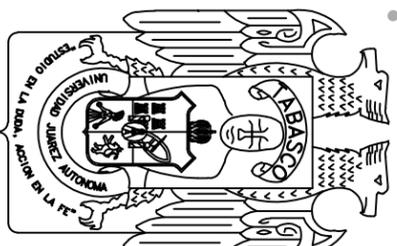
MODULO 2



- 1 MORTERO PROP. 1:4 CEMENTO-ARENA ESPESOR DE 0.03 MTS.
- 2 VIRUTA ENCAPSULADA ESPESOR DE 0.04 M
- 3 POLIESTIRENO ESPESOR DE 0.06 M
- 4 LOSA FABRICADA EN SISTEMA COVINTEC DE 0.13 M DE ESPESOR
- 5 BLOCK de 10 x 20x40 ALTURA DE 0.175 M.
- 6 MURO DE BLOCK 15 CM ESPESOR DE 10 x 20x40 ASENTADO CON MORTERO CEM-ARE PROP. 1:4.
- 7 MORTERO DE 0.025 M. DE ESPESOR

DETALLE 2 DEL PROTOTIPO

VER DETALLE 2



UNIVERSIDAD JUAREZ AUTONOMA DE TABASCO
DIVISION ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

PROYECTO:
TESIS DE MIPA

MUNICIPIO:
CUNDUACAN, TAB.

MUNICIPIO:
JUNIO DEL 2017.

PLANO:

PROYECTO ARQUITECTÓNICO DE
MODULO 2, CON EL SISTEMA MULTICAPA

COMITE REVISOR:

PROYECTO:
ARQ. XOCHILT CORNELIO RODRIGUEZ.

DR. RAUL GERMAN BAUTISTA MARGULIS

PRESIDENTE

REVISO:
DR. GASPARD LOPEZ OCAÑA.

DR. ENA EDITH MATA ZAYAS

SECRETARIO

DIBUJO:
MAXIMILIANO R. BERISTAIN CORNELIO

ESCALA:

1:75

ACOTACION:

METROS

CLAVE DEL PLANO:

PARQ-02

No. DEL PLANO:

2/2