



00163

3
24.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**INFLUENCIA DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS
EN EL DISEÑO DE LA VIVIENDA
(ESTRATEGIA APLICADA A VILLAHERMOSA, TAB.)**

MARÍA GUADALUPE ALPUCHE CRUZ

T E S I S

**QUE PRESENTA
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRÍA EN ARQUITECTURA
ESPECIALIDAD EN DISEÑO ARQUITECTÓNICO**



**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE ARQUITECTURA
1997**



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DIRECTOR DE TESIS :

DR. J. DIEGO MORALES RAMÍREZ

ASESORES :

DR. ALVARO SÁNCHEZ GONZÁLEZ

M. EN ARQ. FRANCISCO REYNA GÓMEZ

M. EN ARQ. LUCÍA SANTA ANA LOZADA

M. EN ARQ. ALEJANDRO CABEZA PÉREZ

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme brindado todo el apoyo económico para la realización y culminación de mis estudios de Maestría en Arquitectura.

Al Dr. Alvaro Sánchez, gran profesor e investigador, por su motivación y constante preocupación durante todo el transcurso de mis estudios de maestría, así como por su aportación para el mejoramiento de este trabajo.

Al Dr. J. Diego Morales, gran profesor en el campo del diseño bioclimático, a quien debo la dirección de mi trabajo de tesis con lo cual pude alcanzar mis objetivos en esta institución. Así como por su apoyo y atinadas sugerencias para realizar un mejor trabajo.

Al M. en Arq. Francisco Reyna, quien siempre me animó a permanecer constante en la culminación de mis estudios, así como por su valioso asesoramiento en la realización del presente trabajo.

A la M. en Arq. Lucía Santana, por su amistad y asesoramiento a lo largo de mis estudios de maestría y en la realización de esta tesis.

Al M. en Arq. Alejandro Cabeza, gran profesor de la arquitectura de paisaje, por la minuciosa revisión de mi trabajo de tesis, derivando en atinadas sugerencias que permitieron hacer de este un mejor trabajo.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, por todas las facilidades brindadas para la realización de mis estudios de maestría.

A Felipe

por su amor y apoyo en todo momento.

CONTENIDO

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1	
1.1. Planteamiento del problema	2	
1.2. Objetivos	3	
1.3. Hipótesis	4	
1.4. Alcances del Estudio	5	
1.5. Reseña Histórica	6	
CAPÍTULO II. PRINCIPIOS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICOS	11	
2.1. Fundamentos de la transferencia de calor	11	
2.1.1. Principios generales	11	
2.1.1.1. Conducción	11	
2.1.1.2. Convección	12	
2.1.1.3. Radiación	12	
2.1.1.4. Control térmico	14	
2.2. Elementos climáticos	16	
2.2.1. Temperatura del aire	16	
2.2.2. Viento	16	
2.2.3. Humedad atmosférica	17	
2.2.4. Precipitación	18	
2.3. Vegetación	19	
2.4. Bienestar térmico humano	20	
2.4.1. Recursos de termorregulación	22	
CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA	25	
3.1. Influencia del clima en la Arquitectura vernácula mexicana	25	
3.1.1. Cálido húmedo	26	
3.1.2. Clima seco	27	
3.1.3. Clima templado	28	
3.1.4. Espacio interior y exterior	29	
3.2. Los tipos de techos utilizados en la Arquitectura vernácula	31	
3.2.1. Techo plano	31	
3.2.2. Techos de una sola pendiente	32	
3.2.3. Techo de dos aguas	33	
3.2.4. Techo de cuatro aguas	34	
3.2.5. Techo de forma absidal	35	
3.2.6. Techo cónico	36	
3.2.7. Techo tipo bóveda	37	
3.3. Sistemas de enfriamiento utilizados en el diseño bioclimático	39	
3.3.1. Sistema skytherm	39	
3.3.2. Sistema living system	40	
3.3.3. Trampa de radiación de techo	41	
3.3.4. Techo de concreto con aislamiento operable	42	
3.3.5. Sistema de enfriamiento nocturno por N. Pinney	43	

3.3.6. Sistema de pared de agua	44	
3.3.7. Techos huecos ventilados	44	
3.3.8. Respiradores de trampilla	45	
3.3.9. Refrigeración por evaporación	45	
3.3.10. Bóvedas y cúpulas	46	
CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL SITIO	48	
4.1. Delimitación de la zona de estudio	48	
4.2. Análisis climatológico	50	
4.2.1. El estado	50	
4.2.2. La ciudad de Villahermosa	50	
4.3. Tipología urbana	60	
4.3.1. El estado	60	
4.3.2. La ciudad de Villahermosa	61	
4.4. La vivienda vernácula de la zona	66	
4.5. La vivienda vernácula de la ciudad de Villahermosa	68	
4.6. La vivienda actual de la zona	72	
CAPÍTULO V. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN	74	
CAPÍTULO VI. RESULTADOS 81		
6.1. Simulación térmica de la vivienda vernácula	81	
6.2. Simulación térmica de la vivienda actual	84	
6.3. Simulación térmica de la propuesta de diseño	86	
6.4. Análisis de los resultados	89	
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95	
CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA	98	

I. INTRODUCCIÓN.

Existe una relación de interdependencia entre el hombre y su medio, por ello, cualquier transformación que tenga lugar en éste, implicará una reacción del organismo para adecuarse.

En la integración del hombre con su medio, la variación de los factores climáticos influyen de modo significativo en su forma de vida: directamente, por medio de la conducción de sus costumbre o de un proceso de selección y adaptación a ritmos generacionales, e indirectamente a través de la propia conformación de la naturaleza que lo rodea.

En los últimos años, con el advenimiento de las nuevas tecnologías y la utilización generalizada de medios mecánicos para regular el interior de las edificaciones, el hombre poco se ha preocupado por adecuarse al medio. Esto ha provocado perder en gran medida la capacidad para construir espacios arquitectónicos que cumplan con los requerimientos de bienestar térmico de forma natural. Sin preocuparse por el daño que se causa a sí mismo y al medio ambiente.

Se puede apreciar, por lo general, que en el desarrollo de un proyecto arquitectónico, no se toma en cuenta los requerimientos físicos del usuario respecto a las condiciones ambientales como: temperatura, humedad, velocidad del aire e iluminación, importantes para lograr que el ser humano desarrolle sus funciones metabólicas con el menor esfuerzo posible y cumpla sus actividades con comodidad.

En la arquitectura vernácula o tradicional es factible reconocer la influencia del clima que, mediante un proceso de ensayo y error en el transcurso del tiempo, ha permitido crear las expresiones y significados esenciales de la arquitectura que le han dado permanencia e identidad, caracterizando e identificando, a su vez, cada región del planeta.

El diseño bioclimático integra la consideración climatológica en la configuración del espacio, esto permite entender la propia manera de ser del hombre, que es esencialmente distinta para hábitats diferentes, crear espacios congruentes con el entorno físico, ahorrar energía, propiciar adecuados usos del suelo, racionalizar el uso de recursos naturales y, sobre todo, comprender sus manifestaciones y el papel que desempeña el humano como administrador del planeta que habita, así como evitar la degradación del ambiente y, por tanto, de la vida misma.

En el presente trabajo se muestran algunas formas que algunos investigadores han propuesto dentro del diseño bioclimático para el mejoramiento de las edificaciones y algunas estrategias de diseño que utilizaban nuestros constructores empíricos, o sea

nuestra arquitectura vernácula mexicana. Además, cuenta con otro análisis que se enfoca específicamente a comparar el cálculo térmico de tres edificaciones, una vivienda vernácula típica de una región climática clasificada como cálida-húmeda, como lo es la Ciudad de Villahermosa, Tabasco; otra edificación típica realizada con técnicas más actuales para la misma región, y una tercera vivienda propuesta, que incluye ciertas características utilizadas en el diseño bioclimático.

Con este trabajo se pretende rescatar técnicas de nuestra arquitectura tradicional que con ciertas modificaciones pueden ser aprovechadas para diseñar espacios habitables más confortables y ligados con nuestra tradición cultural.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Las formas tradicionales de los edificios en las zonas tropicales, semitropicales y cálidas rurales, dan a menudo buenas soluciones a los problemas climáticos. Con todo, las necesidades más acuciantes de viviendas en las zonas cálidas tienen lugar en las ciudades y las formas tradicionales, debido a que tienen su origen en la vida económica de las sociedades rurales, rara vez resultan adecuadas a las condiciones urbanas.

Sin embargo, no se pueden resolver adoptando la tecnología que tiene su origen en climas y condiciones económicas diferentes. Parece obvio que los tipos de vivienda edificados para los climas fríos y templados no pueden resolver los problemas de las ciudades en las que el calor es la nota predominante. No obstante, las ciudades de las zonas cálidas están llenas de viviendas y edificios con estos sistemas constructivos, donde el ambiente urbano que resulta es climática y socialmente inadecuado.

Una clase selecta, puede escapar de las consecuencias de un mal diseño, mediante el uso de acondicionamiento mecánico de aire. Las demás sufren las condiciones de vida que no les permiten un trabajo eficaz, ni descanso, ni distracción.

Es por lo cual que el presente trabajo muestra que existen alternativas de diseño que pueden hacer posible la creación de viviendas que tengan espacios interiores y exteriores agradables y sean adecuadas a las condiciones climáticas y sociales de sus habitantes.

1.2 OBJETIVOS.

El presente proyecto se plantea lograr los siguientes objetivos a partir de la hipótesis del problema para la realización de la investigación.

OBJETIVO GENERAL.

El objetivo general de este proyecto es conocer los diferentes sistemas propuestos para un enfriamiento bioclimático en algunas partes del mundo, conocer como eran solucionados en la vivienda vernácula mexicana, mediante una investigación bibliográfica y un análisis comparativo de los sistemas utilizados en tres tipos de vivienda en particular. Se pretende contribuir con información para el diseño bioclimático en las construcciones de vivienda, de las zonas cálido-húmedo de la República Mexicana, empleando los materiales y mano de obra disponibles en el mercado local.

OBJETIVO PARTICULAR.

Conocer de manera sistemática la arquitectura vernácula de la ciudad de Villahermosa en el estado de Tabasco, para conocer las características constructivas, materiales y estructura espacial, para saber en que grado se adecuó al medio ambiente. De la misma manera se analizan las viviendas actuales para poder comparar cual de las dos se adaptó mejor a las condiciones bioclimáticas requeridas por el usuario, mediante el análisis comparativo de cálculo térmico, de ambas viviendas.

Además, realizar una propuesta tomando algunos aspectos de los sistemas empleados en la arquitectura vernácula, que mejor se adapten a las condiciones bioclimáticas de la región.

1.3 HIPÓTESIS.

i) La vivienda vernácula se encuentra mejor adaptada a las variaciones del medio ambiente y cuenta con cierta protección a la radiación solar, que los sistemas utilizados en las viviendas actuales.

ii) La doble placa en una cubierta inclinada con el ducto interior ventilado, proporciona una adecuada protección a la radiación y un mejor enfriamiento a las variaciones de la temperatura en el medio ambiente.

1.4. ALCANCES DEL ESTUDIO.

En el presente estudio se hace un análisis de la influencia determinante del clima en las soluciones de las viviendas: la creación de espacios por el hombre para el hombre mismo, atemperando el clima del medio natural. Por lo cual se presenta un bosquejo de como fue determinante para la creación de las variantes en la arquitectura vernácula de México, dependiendo de las regiones donde se localizan.

Dos condiciones principales definen los climas de México: nuestra latitud a partir del Ecuador y la altura sobre el nivel del mar. En términos generales se estudian las viviendas localizadas en tres grandes tipos de clima: el tropical lluvioso, el templado y el seco. El clima tropical lluvioso abarca las costas del sur del trópico de Cáncer, el Istmo de Tehuantepec y el sureste; el clima templado cubre las sierras madres Oriental y Occidental y los valles centrales; el clima seco abarca las zonas bajas de todo el territorio, al norte del trópico de Cáncer. Estos tres grandes grupos de climas inducen a soluciones diversas y comunes en la vivienda vernácula y campesina.

Se analizan los fenómenos de transferencia de calor y masa que ocurren en el interior de una vivienda, para así conocer de una manera cuantitativa como interactúa con el clima que la rodea. Así como los requerimientos básicos para lograr el bienestar térmico humano dentro de la vivienda.

Al respecto se presenta una síntesis de los trabajos realizados por algunos autores para lograr sistemas de enfriamiento pasivo en climas cálido-húmedo. El diseño de un sistema de enfriamiento, intenta dentro de sus limitaciones económicas, maximizar el beneficio de los recursos ambientales y minimizar la dependencia de los combustibles fósiles y equipo mecánico.

Por último, se enfoca todo el trabajo de investigación al análisis de viviendas en una zona de clima cálido-húmedo, como la ciudad de Villahermosa, Tabasco. Donde se describe y analiza el sitio de una manera más profunda. Se realiza el estudio climatológico de la ciudad, de su tipología urbana, de la vivienda vernácula de la zona así como de la vivienda actual, todo esto para poder simular el comportamiento térmico de las viviendas seleccionadas, tanto con los materiales de construcción originales como con los que se usan en las viviendas nuevas. Para finalmente realizar propuestas de sistemas constructivos y una estrategia de ventilación para las viviendas actuales, buscando contribuir a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

1.5 RESEÑA HISTÓRICA DE LA APLICACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR.

La utilización de la Energía Solar para tratar de climatizar los edificios y ahorrar el consumo de numerosos combustibles, viene desde la época de los antiguos Griegos (s. IV a.C.).

En muchas zonas de Grecia el uso de la energía solar como ayuda al calentamiento de la casa constituyó una respuesta positiva a la escasez energética. Habitantes de un clima soleado durante casi todo el año, aprendieron a construir sus casas para beneficiarse de los rayos solares en los moderadamente fríos inviernos y evitar el calor del sol en los cálidos veranos. Y así nació en Occidente la arquitectura solar, o el diseño de los edificios para mejorar el aprovechamiento de la energía solar.

Las excavaciones modernas de numerosas ciudades griegas clásicas muestran que la arquitectura solar floreció en toda la región. Entre los antiguos, la arquitectura solar se basaba en la posición cambiante del sol durante las diferentes estaciones. Los griegos sabían que el sol describe en invierno un arco bajo por el cielo meridional, mientras que en verano pasa bien alto sobre las cabezas. Y construían sus casas de manera que la luz solar del invierno pudiera penetrar fácilmente a través de un pórtico cara al sur similar a un porche cubierto. Entre el pórtico al aire libre y las entradas a las habitaciones en el interior de la casa no mediaba cristal alguno, pues los griegos no disponían ni de vidrio transparente ni de otros materiales análogos para huecos de puertas o ventanas.

Las habitaciones principales de la casa no sólo eran calentadas por los rayos de sol procedentes del pórtico sino que, además estaban resguardadas del norte, para evitar los vientos fríos. En verano, aleros o tejados sobresalientes protegían las habitaciones de la casa del elevado sol durante gran parte del día. Estos simples principios de diseño sirvieron de base a la arquitectura solar de la antigua Grecia.¹

Los romanos contribuyeron también al desarrollo de la arquitectura solar, al implantar el uso de cristales en ventanas, para permitir el paso de la luz, almacenar calor, y protegerse de la lluvia, la nieve y el frío. Unas de sus importantes aplicaciones fue el uso de ventanas transparentes como tragaluces para almacenar calor en sus baños públicos.

Por otra parte las diferentes civilizaciones que se habían desarrollado hasta entonces, pudieron llegar a obtener viviendas que estaban perfectamente adecuadas al clima del lugar donde se ubicaron, gracias a un largo período en el que por medio de

¹BUTTI, Ken, Perlin, John, Un hilo dorado 2500 años de arquitectura y tecnología solares, Trad. José Corral, Ed. Hermann Blume, Madrid, 1985. (5).

prueba y error, desechaban lo que no funcionaba y conservaban los elementos apropiados, de esto ha quedado constancia en una serie de ejemplos en todo el mundo de la arquitectura vernácula.

Después de la caída del Imperio Romano, la utilización del vidrio como captador de calor solar se pierde en Europa durante la Edad Media. La gente vivía en medio de una confusión permanente. La captación del calor solar para la horticultura renació durante el siglo dieciséis, franceses e ingleses utilizaban "muros frutales" de ladrillo que captaban el calor solar y aceleraba el proceso de maduración, a ellos se unían las ramas del árbol frutal. También empleaban corrientemente "marcos fríos" acristalados. El calor solar retenido por las cubiertas de vidrio permitía disfrutar de plantas exóticas cultivadas fuera de estación. Así de esta forma se comenzaron los primeros diseños de invernaderos.



Croquis de un invernadero del siglo XVII.

A partir de 1774, se empiezan a desarrollar las primeras aplicaciones de la energía solar en experimentos científicos: Joseph Priestley calienta óxido de mercurio por medio de los rayos solares y almacena el gas que se produce para estudiar sus características, esto lo llevó a descubrir el oxígeno; en este mismo año Lavoisier experimenta con unos hornos solares que están compuestos de lentes especiales de 130 cm de diámetro, llenos de alcohol para incrementar su refractividad, permitiéndole así obtener muy altas temperaturas y poder llegar a fundir platino a 1,780°C.²

Por otra parte, durante este mismo período se empieza a gestar un cambio de gran importancia en el modo de producción ya que de los pequeños centros dispersos de industrias artesanales se pasó a una industria mecanizada que se tuvo que

²MORALES, Ramírez J.D., Climatización de Edificios en clima cálido, Tesis de Maestría en Arquitectura, UNAM, México, 1989, (4).

establecer desde un principio junto a las minas de carbón, este cambio constituyó una total transformación del panorama económico, político y social por lo que se le conoce como la revolución industrial.

La vivienda se vio afectada por estos cambios, produciéndose concentraciones de población cerca de las fábricas, que cambiaron el clima de las zonas, por el calor generado tanto por las fábricas como por los pavimentos de las calles y la aglomeración de casas.

A la energía solar, se le comienza a dar desde el siglo XIX una aplicación en aparatos que reportaban alguna utilidad como fue el caso del horno solar diseñado por el científico suizo Nicolás de Saussure, este horno consistía en unas láminas de vidrio colocadas sobre una superficie negra, cercada por una caja de aislamiento, los rayos solares entraban a la caja a través del cristal y eran absorbidos por la superficie negra por medio de un revestimiento químico en las caras exteriores del cristal, de esta manera se pudo conseguir temperaturas tan altas como 150°C.³

Las aplicaciones de la energía solar se hicieron muy variadas como en el caso de la imprenta que funcionaba conectada a una máquina de vapor solar, exhibida en París en 1878, y al mismo tiempo, se empezó a extender su uso hasta lugares como Chile en Sudamérica donde se construyó una destiladora solar que proporcionaba agua fresca a una mina de nitrato.

Sin embargo, durante casi mil años tras la caída de Roma, los arquitectos europeos ignoraron virtualmente los principios de la orientación solar. En singular contraste, la antigua tradición china del planeamiento urbano y diseño constructivo solares conservaría su vigencia, las casas estaban diseñadas en base a la cosmología que impregnaba todos los aspectos de la cultura china. El sur se asociaba al verano y el calor, el norte al invierno y el frío, el sur era por tanto la dirección de la salud, y la orientación preferida de los edificios. En la Europa mediterránea y Asia Menor la arquitectura popular siguió aplicando algunos de los principios de construcción solar como cuestión de simple sentido común. La idea de orientar las casas al sur no fue olvidada, especialmente en Grecia y Turquía.

Al norte de Europa con la llegada de la Revolución Industrial, proliferaron las miserables barriadas donde se alojaban ejércitos de campesinos obligados a buscar empleos en las fábricas, y por consiguiente vivían en condiciones pésimas de higiene, con muy poca penetración de aire fresco o luz del sol en los minúsculos departamentos. Entretanto, las clases medias y altas podían disfrutar su taza de té invernal al soleado calor de los jardines acristalados o estufas que comenzaban a ponerse de moda.

³IBIDEM.(6)

Ante esta situación se comenzaron a proponer ciertas reglamentaciones a nivel de legislaturas para mejorar las condiciones de vida de miles de personas obreras. Así en 1860, se establecieron en Gran Bretaña comunidades obreras encaminadas a alojar saludablemente a los trabajadores industriales. Cuando las comunidades obreras planificadas adquirieron mayor popularidad en Inglaterra y otros países europeos, los arquitectos y urbanistas comenzaron a estudiar más científicamente la cuestión de la orientación solar.

Suecia, Francia y Estados Unidos han sido hasta el momento los tres países donde se ha desarrollado ampliamente la investigación para el uso de la energía solar aplicada a la vivienda.

Sin embargo, el problema que han enfrentado estos países que están ubicados en latitudes muy elevadas es el de que su consumo de energéticos para vivienda en mayor durante el invierno, y es en esta época en la que a pesar de tener días con sol, éste no da el calor necesario; pero sin embargo se aprovecha, por esta razón se ha estado tratando también de encontrar un medio para almacenar la energía solar y poderla usar después, en el momento en que se necesite.⁴



Primeros ejemplos de la aplicación de la energía solar en la vivienda.

Los primeros logros dentro de este campo se obtuvieron a partir de los años 50's por medio de los trabajos de Chapin, Fuller y Pearson que desarrollaron la primera celda solar para conversión directa de radiación solar incidental a electricidad.

⁴IBIDEM.(7)

En el presente siglo se han continuado las investigaciones en torno al aprovechamiento de la Energía solar en todos los campos de la ciencia, pero todavía falta mucho por hacer y aplicar en la arquitectura.

El sol puede ser la fuente energética práctica y abundante de que depende la civilización el día en que se agoten los actuales suministros de combustibles fósiles. No existen razones para considerar a la tecnología solar como algo exótico y por demostrar, ya que se ha estado aplicando desde hace más de dos mil años.⁵

En nuestro país pocos son los arquitectos que diseñen tomando en cuenta las condiciones climáticas locales, y pocas son las investigaciones realizadas en el diseño bioclimático para climas cálidos como el nuestro. Es por la importancia de la arquitectura solar que se pretende realizar el presente trabajo de investigación, tratando de lograr una pequeña aportación para el mejor desempeño de nuestra profesión.

⁵BUTTI, K., Perlin, J., Un hilo dorado. 2500 años de Arquitectura y Tecnología Solar, Hermann Blume, Madrid, 1985. (253)

II. PRINCIPIOS DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO.

La arquitectura ambiental específicamente la bioclimática, tiene la función de crear espacios que cumplan con una finalidad funcional y expresiva, concebidos y basados ecológicamente en los objetivos siguientes: a) crear espacios física y psicológicamente confortables, para propiciar el óptimo desarrollo de las actividades humanas. b) Hacer un uso eficaz de la energía, tendiendo a la autosuficiencia energética de las edificaciones. c) Preservar y mejorar el ambiente. En resumen, se debe integrar al hombre a su ambiente natural por medio de la arquitectura.

2.1. FUNDAMENTOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR.

2.1.1. PRINCIPIOS GENERALES.

El flujo o la energía en una estructura o un espacio se basa en los principios de la termodinámica. La primera ley establece que la energía se transforma, no se crea ni se destruye, mientras que la segunda dice que la energía calorífica siempre viaja de un cuerpo con mayor temperatura a uno con menor temperatura.¹

La transferencia directa de calor se puede dar a través de los tres mecanismos de transferencia de calor, como son: conducción, convección y radiación.

2.1.1.1. CONDUCCIÓN.

Es la transferencia de calor por actividad molecular que ocurre básicamente entre

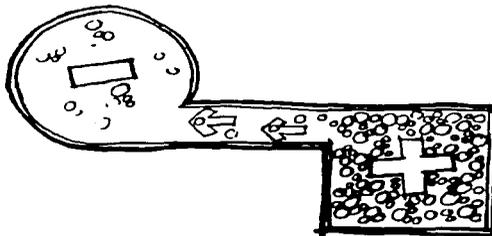


Figura 1. Ejemplo de Conducción (Fuente: Wright, 1983).

¹LACOMBA, Ruth, Manual de Arquitectura Solar, Ed. Trillas, México, 1991, (216).

la materia sólida, cuando las primeras moléculas se calientan, su energía se transfiere a las moléculas adyacentes. Cuando otro objeto es puesto en contacto físico con un material caliente, el calor se transfiere directamente al objeto por conducción, mientras que el flujo de calor se detiene cuando ambos objetos alcanzan la misma temperatura interna.²

2.1.1.2. CONVECCIÓN.

Es la transferencia de calor entre líquidos y gases, lo cual da como resultado el movimiento de fluido. La convección se refiere a la transferencia de calor que ocurre entre la superficie de un material y un fluido. La magnitud del flujo de energía calorífica por este tipo de convección depende del área superficial expuesta, de la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire, y de un coeficiente de convección, que a su vez depende de la viscosidad, de la velocidad del aire y de la configuración física y textura de la superficie, la cual determinará si el flujo del aire será laminar o turbulento.³

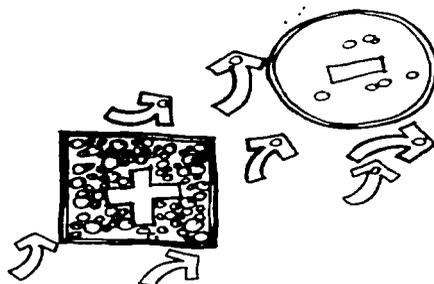


Figura 2. Ejemplo de Convección (Fuente: Wright, 1983).

2.1.1.3. RADIACIÓN.

La radiación es la transferencia de energía a través de ondas electromagnéticas. Dado que la transferencia de energía por radiación ocurre dentro de un amplio espectro

²IBIDEM. (216)

³IBIDEM. (217)



de longitud de onda, se hará referencia a la radiación térmica como aquélla que es emitida por cualquier cuerpo cuyas moléculas han sido excitadas por energía térmica. La transferencia de calor por radiación se establece por la conversión de energía térmica en radiante. La energía radiante viaja hacia afuera del objeto emisor y conserva su identidad, hasta que es absorbida y reconvertida en energía térmica por un objeto receptor. La intensidad de energía radiante recibida por un objeto depende de lo siguiente: a) De la distancia de la fuente de energía, la intensidad de radiación térmica recibida varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente y el receptor. b) Del ángulo de incidencia de la radiación, la cantidad de energía radiante recibida por unidad de área será mayor si la radiación incide perpendicularmente sobre una superficie. c) De la temperatura del cuerpo radiante y del receptor, al cumplir con la segunda ley de la termodinámica, si ambos cuerpos tienen la misma temperatura no habrá transferencia de energía. d) De la cualidades de absorción y emisión de las superficies.⁴

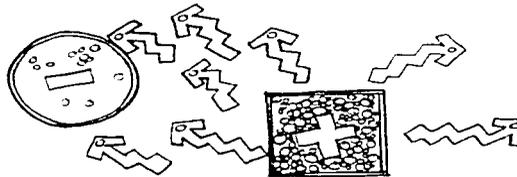


Figura 3. Ejemplo de Radiación. (Fuente: Wright, 1983).

La radiación solar directa, formada por pequeñas longitudes de onda, es la fuente de la mayor parte de la energía de la tierra y es, por consiguiente, de todos los fenómenos climáticos, el factor dominante. La intensidad de la radiación solar en las zonas altas de la atmósfera varía según la distancia de la Tierra al Sol y según la actividad solar, siendo la intensidad media sobre una superficie perpendicular a los rayos del Sol, de 1353 watts/m^2 (o $1.94 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$). A este valor se le llama constante solar.⁵

Al pasar la radiación a través de la atmósfera terrestre se producen una serie de pérdidas, dependiendo la reducción total, de la longitud de la trayectoria que atraviese la atmósfera. Una parte de la radiación solar incidente es reflejada por la superficie de

⁴IBIDEM. (218)

⁵ FERNÁNDEZ, G. L., Diseño en Climas Cálidos, H. Blume Ediciones, España, 1981.

las nubes, y otra parte es absorbida por elementos atmosféricos como el ozono, vapor de agua y dióxido de carbono, en tanto que otra parte se difunde en todas las direcciones debido a las propias moléculas del aire. La intensidad de la radiación directa depende en última instancia de la altura solar - que es la que determina la longitud de la trayectoria dentro de la atmósfera que han de atravesar los rayos - y de la cantidad de vapor de agua, partículas de polvo y elementos contaminantes que contenga, producidos por el hombre. Parte de la radiación que se difunde, llamada radiación "difusa", ya que proviene de todas partes del cielo, llega a la superficie de la tierra, por lo que la irradiación o soleamiento total (energía de radiación que llega a la Tierra procedente del Sol) es la suma de esta radiación difusa y de la radiación directa.

Haciendo la media anual para todo el planeta, sólo aproximadamente la mitad de la energía solar que incide en las capas exteriores de la atmósfera puede penetrar hasta alcanzar la superficie de la Tierra, donde en su mayor parte es absorbida y convertida en calor, mientras que la restante se refleja de nuevo en dirección a la atmósfera o se absorbe en la evaporación del agua. A medida que la superficie de la Tierra recibe energía, su temperatura aumenta y, a su vez, también irradia energía, aunque en este caso con una longitud de onda grande, que es absorbida en gran parte por la atmósfera, que, por el contrario, deja pasar sin gran absorción las pequeñas longitudes de onda que provienen de la radiación directa. La atmósfera, al absorber energía, eleva su temperatura e irradia calor, en parte en dirección a la Tierra y en parte hacia el exterior, perdiéndose en el espacio.

Las cuatro formas principales en las que la transferencia de calor por radiación puede influir en los edificios son: radiación directa del sol, de pequeña longitud de onda; radiación difusa de pequeña longitud de onda proveniente del cielo; radiación de pequeña longitud de onda reflejada en el terreno cercano, y radiación de onda larga que se produce al calentarse el terreno y los objetos próximos. Estos factores influyen en el edificio de dos maneras: en primer lugar, los distintos tipos de radiación entran por las ventanas siendo absorbidos por las superficies interiores, produciendo así un efecto de calentamiento, y en segundo lugar, al ser absorbidas por las superficies exteriores del edificio originan una aportación de calor, gran parte de la cual pasa por conducción a través de los materiales, emitiéndose finalmente hacia el interior. Otra forma de transferencia de calor en relación con los edificios es la radiación de onda larga del edificio al cielo - un efecto que se reduce cuando el cielo está nublado y es mayor cuando la atmósfera está limpia y seca como en las regiones cálidas y áridas, donde se puede utilizar como fuente de energía para enfriar los edificios.

2.1.1.4. CONTROL TÉRMICO.

Es muy importante analizar los flujos de energía en una estructura, porque con ello se pueden controlar las condiciones térmicas de los espacios interiores y, por tanto, obtener condiciones de confort térmico, en las que el cuerpo ejerza un mínimo esfuerzo

para mantener su equilibrio interno. Lo más conveniente es lograr un control térmico natural, de manera que se evite al máximo emplear sistemas artificiales electromecánicos para el acondicionamiento del aire.

2.2. ELEMENTOS CLIMÁTICOS.

2.2.1. TEMPERATURA DEL AIRE.

Como la temperatura del aire varía de un lado a otro del edificio, de las zonas en sombra a las situadas al sol, de los terrenos con hierba o pavimentados a las calles asfaltadas, es un elemento difícil de definir y para medirla lo único que se debe esperar es poder encontrar un valor que represente cierto valor medio de la temperatura de una combinación heterogénea de aire.

La velocidad con que se calienta y enfría la superficie de la tierra es el factor principal que determina la temperatura del aire que se encuentra sobre ella. La temperatura del aire se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), frecuentemente con un termómetro de mercurio. La temperatura de bulbo seco o "temperatura verdadera del aire" es un valor que se toma a la sombra, con el termómetro montado dentro de una caja con persianas de madera, conocida como "pantalla de Stevenson", a una altura de 1.20 a 1.80 m por encima del suelo. También puede utilizarse un termómetro gráfico, que da un registro gráfico continuo de las variaciones de temperatura.⁶

Para el diseñador es importante obtener no sólo las temperaturas medias máximas mensuales, sino también las horarias, que dan una indicación más exacta de las variaciones de la temperatura en el transcurso del día, y poder prever la importancia que tendrán los elementos de protección solar, los colores reflectantes y la ubicación de los espacios en las edificaciones para beneficio de los usuarios, así como su tratamiento en el espacio inmediato contextual.

2.2.2. VIENTO.

Los vientos de una región dependen de diversas características, entre los principales se encuentran las diferencias estacionales de la presión atmosférica de los distintos lugares, la rotación de la tierra, las variaciones diarias de calentamiento y enfriamiento de la tierra y del mar, y la topografía de la región.

En cada hemisferio de la superficie de la tierra hay franjas y puntos de presión atmosférica alta y baja, algunos de los cuales son permanentes, mientras que otros sólo existen durante parte del año. La causa fundamental de la existencia de estos puntos y franjas es la distribución irregular de la radiación solar sobre la tierra y la consecuente variación del calentamiento superficial. En cada hemisferio los vientos predominantes para las distintas latitudes se agrupan en tres franjas que rodean al planeta: los vientos solanos tropicales o vientos alisios, los contralisios de latitudes medias y los vientos

⁶ KONIGSBERGER, O.H., et al, *Viviendas y Edificios en zonas cálidas y tropicales*. Ed. Paraninfo, España, 1977.



polares. Además hay otros sistemas eólicos, como son los monzones, consecuencia de las diferencias anuales de calentamiento entre las zonas terrestres y marítimas. La masa de aire que mueven estos sistemas de vientos tienen las características adquiridas en su lugar de origen y en su camino. Cuando llegan, pueden reemplazar completamente, o enmascarar los elementos climáticos locales, pudiendo determinar el clima de toda una región. Sin embargo, en las condiciones atmosféricas de un lugar determinado influye no sólo el aire en movimiento por influencia de las grandes masas de aire, sino también vientos de origen más local, típicos de esa zona y originados por las características de esa región determinada, como las montañas, lagos o el mar.⁷

El viento influye en la ventilación de los edificios, pudiéndose utilizar para enfriamiento, puede ser causa de un mayor refuerzo en la estructura, por lo tanto el diseñador ha de conocer la dirección, velocidad y variación probable diaria de los vientos predominantes y analizar como utilizar de una manera eficiente y adecuada los aspectos positivos y eliminar los negativos.

2.2.3. HUMEDAD ATMOSFÉRICA.

El término humedad atmosférica se refiere al contenido de vapor de agua de la atmósfera como resultado de la evaporación de las superficies de agua y de la humedad del terreno y de la transpiración de las plantas. Para una temperatura dada existe un límite del contenido de agua que puede haber en forma de vapor, aumentando la capacidad del aire con la temperatura. Para expresar el contenido de humedad del aire se utilizan distintos términos como la humedad absoluta, humedad específica, presión de vapor y humedad relativa. La humedad absoluta se define como el peso de agua que hay en un volumen dado de aire expresado en gramos por metro cúbico (g/m^3), mientras que la humedad específica es el peso de agua que hay en un peso determinado de aire (g/kg). La presión de vapor es la proporción de la presión atmosférica total que se debe únicamente al vapor de agua, variando desde una presión de menos de 2 milibares en regiones frías y desiertos, hasta una presión de 15-20 (o incluso más) milibares en regiones tropicales cálidas y húmedas.

Aunque la humedad absoluta de una masa determinada de aire no se altera a no ser que se aporte o se extraiga de ella vapor de agua, la humedad relativa del aire variará según la temperatura. Si el aire tiene realmente todo el vapor de agua que es capaz de contener, se dice que está saturado, siendo su humedad relativa del 100%, pero si el contenido real de vapor es menor del contenido potencial a la misma temperatura, entonces la humedad relativa será menor del 100%. La humedad relativa es, entonces, la relación entre la humedad contenida en un volumen dado de aire y el

⁷ KONIA, Allan, Diseño para climas cálidos, Traducción Rafael Fontes, H. Blume Ediciones, España, 1981.

máximo contenido de humedad posible a esa temperatura.⁸

Como la humedad relativa influye en el comportamiento de muchos materiales de construcción y en la velocidad con que se deterioran, y la presión de vapor influye en la evaporación del cuerpo humano, estas dos formas de expresar el contenido de humedad en la atmósfera, son de capital importancia para el diseño de las edificaciones y las condiciones de comodidad dentro del mismo dependerá en gran medida de un análisis y soluciones adecuados a los datos obtenidos.

2.2.4. PRECIPITACIÓN.

Cuando se enfría una masa de aire no saturado, reduciéndose su contenido potencial de humedad, su humedad relativa se eleva hasta que finalmente se satura, produciéndose condensaciones si se sigue enfriando. El aire se puede enfriar al ponerse en contacto con superficies más frías, al combinarse con aire más frío, y por expansión, cuando hay corrientes ascendentes de aire. El enfriamiento por contacto con superficies frías sólo se produce en las capas de aire inferiores, y al producirse la condensación se deposita rocío sobre las superficies frías. Cuando el aire que no está en contacto directo con las superficies frías se enfría por debajo de su punto de rocío se produce niebla - una capa densa de pequeñas gotas cerca del terreno.

La formación de nubes a gran escala y las precipitaciones son consecuencia del llamado enfriamiento "adiabático" de las grandes masas de aire, y dependen en gran medida de la estabilidad del aire en sentido vertical. Al subir el aire, disminuye la presión que se ejerce sobre él, y por lo tanto se expande y se enfría; a este enfriamiento se le llama adiabático - un proceso en el que no se gana ni se pierde energía calorífica -. Cuando al subir una masa de aire se enfría por expansión y alcanza su punto de rocío, se produce la condensación a gran escala y cuando los millones de pequeñas gotas o diminutos cristales de hielo quedan suspendidos en la atmósfera por las corrientes ascendentes, se forman las nubes. Al seguir elevándose el aire, las pequeñas gotitas se agrupan para formar gotas cada vez más grandes, hasta que por gravedad pueden caer, produciéndose las precipitaciones - que adoptan formas muy diferentes, lluvia, nieve, agua nieve y granizo.

El arquitecto además de investigar la lluvia total en cada mes del año, es importante que evalúe también la cantidad máxima durante un período de 24 horas para prever el drenaje adecuado de la cubierta y de las zonas pavimentadas, así como si el edificio estará situado en zona de lluvias torrenciales y poder tomar las medidas pertinentes.

⁸ IBIDEM.



2.3. VEGETACIÓN.

La parte de la radiación solar que llega a la tierra eleva la temperatura del terreno - su magnitud depende de la latitud, estación, pendiente, hora del día y clase de suelo - y durante el día la mayor temperatura tiene lugar en el aire, cerca del terreno. En otras palabras, la temperatura aumenta considerablemente a medida que nos acercamos al terreno. Durante la noche, como consecuencia de la periódica evaporación y radiación desprendida sucede lo contrario, disminuyendo la temperatura a medida que nos acercamos al terreno. Por lo tanto, una peculiaridad del microclima es que cuanto más nos acerquemos al terreno más extremas son las variaciones de temperatura.

La vegetación que cubre los terrenos tiende a moderar los extremos de temperatura y estabilizar sus condiciones. Las plantas y hierbas reducen la temperatura y mientras que se puede reducir aún más mediante una mayor vegetación, las ciudades y las superficies hechas por el hombre tienden a elevar su temperatura y reducir su humedad. Una equivocación bastante corriente, que puede tener unas consecuencias de lo más desagradables en climas cálidos, es colocar superficies pavimentadas - que acumulan mucha más cantidad de calor y se mantienen calientes durante más tiempo que las superficies no pavimentadas o cubiertas de hierba - cerca de las ventanas de las casas u otros edificios.

En todas las regiones cálidas es considerable el efecto beneficioso incluso de una pequeña vegetación; el arquitecto deberá tener en cuenta todas las plantas que haya en el terreno. La vegetación también sirve de protección contra el sol, el polvo y la erosión. Es diferente el resguardo que ofrecen las protecciones contra el viento compuestas de plantas y la que proporcionan los obstáculos continuos como son los edificios, ya que el grado de protección no sólo depende de la altura, sino del grado de permeabilidad. Las plantas, al permitir el paso de cierta cantidad de aire, originan menos turbulencia que las pantallas continuas y, como consecuencia, una mayor superficie de protección.⁹

⁹ IBIDEM.

2.4. BIENESTAR TÉRMICO HUMANO.

El organismo humano constituye un sistema homeotérmico: para su correcto funcionamiento necesita mantener una temperatura interna constante de alrededor de 37°C, cualesquiera que sean las condiciones térmicas de su entorno inmediato. Esta temperatura no es uniforme: la temperatura de la piel es inferior a la del interior del cuerpo, y la de las extremidades resulta, a su vez, inferior a la del tronco. La circulación sanguínea contribuye en gran medida a uniformar la temperatura del interior del cuerpo.

Se puede equiparar el organismo humano a una máquina térmica que recibiera como insumos agua, oxígeno, energía química en general (alimentos), además de una cierta cantidad de calor suministrado por su medio ambiente, y, bajo determinadas condiciones, producirá energía mecánica (actividad muscular), y calor. Los procesos bioquímicos internos generan energía térmica bajo forma de "calor metabólico".

Este calor metabólico, que se produce incluso cuando la actividad muscular se ve reducida al mínimo, debe ser oportunamente disipado; si no lo fuera, la temperatura del cuerpo subiría por encima de los límites dentro de los cuales es posible el correcto funcionamiento del organismo. Desde luego, la actividad muscular incrementa considerablemente la cantidad de calor metabólico a disipar.

El rendimiento termodinámico (porcentaje de la energía recibida que transforma en energía mecánica) de nuestro organismo, es del orden del 20% al 25%.

El alimento que cada ser humano requiere está en función de la actividad que pretenda realizar

En función de los datos expuestos y suponiendo resuelto el problema alimentario, se puede entender que el problema principal en las zonas cálidas, desde el punto de vista biotérmico, es el de conseguir disipar cómoda y eficientemente el calor metabólico que produce el cuerpo.

Todos los mecanismos habituales de transmisión térmica se encuentran, con distinta y variable importancia relativa, en la interacción del cuerpo humano con su entorno.

a) Conducción

La piel, por medio del contacto físico con su entorno inmediato: aire, ropa, suelo y muebles, puede ganar o perder calor, ya sea que su temperatura sea más baja o más alta que la de la superficie de contacto del elemento de que se trate.

b) Convección

El aire calentado o enfriado por la piel se desplaza, por disminución o aumento de su densidad, dando lugar a un fenómeno de convección.

c) Radiación

La piel irradia siempre calor en la longitud de onda correspondiente a los infrarrojos. Nuestro entorno emite a su vez radiaciones, ya sea en ondas "cortas" (radiación solar directa) o en ondas "largas" (radiación terrestre). Se plantea pues un intercambio energético por radiación entre la piel y el entorno, incluso lejano.

Este es un aspecto generalmente mal conocido o comprendido por el hombre común: podemos sentir "frío" o "calor" aun cuando la temperatura del aire que nos rodea se encuentre dentro de los límites convencionales de la zona de confort (22° - 28° C), en función de que las superficies que tengamos próximas se encuentren muy frías (balance de radiación negativo para el cuerpo) o muy calientes (balance de radiación positivo para el cuerpo). El mecanismo de transmisión térmica por radiación no necesita de contacto físico alguno para tener lugar.

d) Evaporación

Cuando las capas de aire que nos rodean posean una humedad relativa inferior al 100%, se producirá disipación térmica al liberarse calor latente por medio de la evaporación del sudor sobre la superficie de la piel y también por la humectación del aire a su paso por los pulmones.

El balance térmico entre el cuerpo humano y su entorno puede expresarse en la forma siguiente: $M \pm Cd \pm Cv \pm R - E = 0$,
donde:

M es el calor que por unidad de tiempo produce el metabolismo humano.

Cd, Cv y R el calor que gana o pierde el cuerpo por conducción, convección y Radiación, respectivamente.

E el calor que siempre pierde el cuerpo por evaporación.

El valor relativo de estas variables depende de cada circunstancia concreta. En condiciones bastante favorables de confort y para un individuo en reposo, la dispersión metabólica tendrá lugar según porcentajes parecidos a los siguientes:

30% por conducción/convección;

45% por radiación, y

25% por evaporación.

La condición de que se anule la expresión: $M \pm Cd \pm Cv \pm R - E$ equivale a la

condición de homeotermia, pero no indica nada respecto al posible confort térmico del individuo del que se trate. Si la expresión citada tendiera momentáneamente a ser positiva, el sujeto experimentaría más calor y si tendiera a ser negativa, sentiría más frío que en la situación inmediatamente anterior de equilibrio. En ambos casos se pondrán rápidamente en funcionamiento mecanismos psicofisiológicos que, alterando una o más variables, restituirán el equilibrio perdido, anulando otra vez la mencionada expresión del balance térmico.

2.4.1. RECURSOS DE TERMORREGULACIÓN.

Al nivel de la conducta física, los recursos de termorregulación incluyen: el simple desplazamiento hacia zonas donde las circunstancias climáticas naturales sean menos adversas, la concepción y fabricación de objetos que configuran la "cultura material", algunos de los cuales tienen como finalidad básica el control bioclimático (por ejemplo: la ropa y la edificación), y, en general, la intervención sobre el medio ambiente para transformarlo en un sentido más favorable a las actividades humanas. El control individual de la actividad, entendida ésta en su dimensión física, constituye en sí mismo uno de los principales mecanismos de termorregulación puesto que, como se vio, la variable "calor metabólico" depende muy directamente del tipo de actividad física que se desarrolle.

El organismo humano presenta unas posibilidades concretas de termorregulación basadas en la variación de las condiciones de interacción entre la piel (y las membranas respiratorias) y su entorno. La piel es un órgano que desarrolla un conjunto muy importante de funciones, entre las que figura la de disipar el calor metabólico. Esta dispersión se ve parcialmente contrarrestada por la energía térmica que la piel absorbe del medio ambiente. La piel recibe el calor endógeno por medio, sobre todo, de la circulación sanguínea. la sangre, en cuya composición domina cuantitativamente el agua, tiene un calor específico muy alto (muy similar al de este último líquido: $4.2 \text{ J/g}^\circ\text{C}$), y actúa como vehículo de transporte de energía química (transporte de nutrientes) y térmica (transporte de calor del centro a la periferia).

Los mecanismos fisiológicos de termorregulación son de naturaleza involuntaria, y se pueden clasificar atendiendo a los siguientes rubros:

a) Grado de sudoración

Las glándulas sudoríparas humedecen la superficie de la piel permitiendo la evaporación, la cual tendrá lugar siempre que el aire en contacto con la piel no se encuentre saturado. Dicha evaporación consume calor latente, que en buena medida toma del cuerpo. Constituye, pues, un medio de dispersión térmica. Cuanto más baja sea la humedad relativa del aire mayor eficacia adquirirá el recurso de la sudoración.



b) Flujo de circulación subcutánea

Varía de 0.16 litros de sangre por metro cuadrado de piel en estado de vasoconstricción a 2.2 litros por metro cuadrado en estado de máxima vasodilatación.

En caso de que, por efecto del frío, se produzca una vasoconstricción generalizada, el calor metabólico permanece en mayor grado en el interior del cuerpo, disminuyendo la temperatura de la piel. La vasodilatación, al contrario, permite un amplio despliegue superficial circulatorio, lográndose así una mayor dispersión térmica.

c) Ritmo cardíaco

Su aceleración acentúa la transmisión térmica del interior del cuerpo hacia la piel.

d) Ritmo respiratorio

El aire que inhalamos se calienta (si su temperatura es inferior a 37°C) y se humidifica (si su humedad relativa es inferior al 100%) a su paso los alvéolos pulmonares.

De esta forma se disipa una pequeña cantidad de nuestro calor metabólico. Al forzar el ritmo respiratorio se intensifica dicha disipación.

e) Intensidad de la actividad muscular involuntaria

La sensación de calor produce una relajación involuntaria de la actividad muscular, mientras que la sensación de frío tensa los músculos, aumentando así la producción de calor metabólico. Este es el sentido biológico que tiene la acción de tiritar, común manifestación involuntaria de la sensación de frío. El mecanismo aludido tiene también relación con el de vasoconstricción/vasodilatación, antes mencionado.

f) Modificación del apetito

El clima es uno de los factores que determina el apetito de cada individuo. Se regula así, en parte, la ingestión de alimentos en sus aspectos cuantitativos y cualitativos. El apetito influye de esta manera en la producción de calor metabólico.

Nuestro organismo lleva incorporado un termostato de buena precisión: el hipotálamo, ubicado en la región cerebral. Este órgano detecta cualquier pequeño cambio en la temperatura del torrente circulatorio interno y pone en funcionamiento una combinación de los mecanismos de termorregulación que se acaba de describir, los cuales persisten hasta que la temperatura sanguínea vuelve a la normalidad.

En cada situación concreta la dosificación precisa de cada uno de los recursos biológicamente disponibles varía mucho de un individuo a otro; sin embargo, cabe destacar la sudoración como el recurso en última instancia más eficaz y universal, al menos en las zonas templadas y cálidas.

La eficacia de los recursos de termorregulación hace posible la homeotermia, pero cada uno de estos recursos tiene alcances limitados. Existen unos márgenes "normales" de intensidad fuera de los cuales se presentan situaciones de creciente fatiga y desgaste, hasta alcanzar unos límites biológicos intransgredibles. Fuera de los límites absolutos de actuación de dichos recursos la vida humana es imposible; fuera de los márgenes de "normalidad" se presenta una carencia más o menos acusada de confort térmico.¹⁰

¹⁰TUDELA, Fernando, Ecodiseño, U.A.M.-X, México, 1982. (21)

III. REVISIÓN DE LITERATURA.

Es indispensable conocer los trabajos realizados con anterioridad referentes a la climatización natural del medio. Por tanto, se realizó una investigación bibliográfica, la cual abarca dos temas importantes: el primero de ellos el conocimiento de las características generales constructivas de nuestra arquitectura vernácula y el segundo los estudios teóricos o experimentales acerca del enfriamiento térmico existentes en el diseño bioclimático.

3.1. INFLUENCIA DEL CLIMA EN LA ARQUITECTURA VERNÁCULA MEXICANA.

Las condiciones climáticas conforman una de las principales razones de ser en la vivienda: la creación de espacios por el hombre para el hombre mismo, atemperando el clima del medio natural. Durante milenios de sabiduría popular, se han ido refinando los diseños que las culturas de cada clima han producido. Toda vivienda es construida con requisitos múltiples adecuados a las variantes que durante día y noche, así como las estaciones, representa el clima.

Dos condiciones principales definen los climas de México: nuestra latitud sobre el Ecuador y la altura sobre el nivel del mar. En términos generales, a medida que nos apartamos del Ecuador o del nivel del mar, la temperatura baja. En las regiones situadas a menos de 1000 m sobre el nivel del mar, la temperatura está determinada por la latitud y la altitud en aquellas que sobrepasan esta cota. Por abajo de los 1000 m y al sur del trópico de Cáncer, que cruza por la mitad de nuestro país, la temperatura media anual es de 22.5 °C, en tanto que al norte de esa línea y por encima de esa latitud, el promedio es de 15°C. Salvo en el extremo norte, donde en el verano hay calores rigurosos y en el invierno nevadas, en el resto del país no suceden cambios radicales en el curso de las estaciones.

Las lluvias en cambio sí son significativas. La precipitación en el ciclo de verano va desde los 300 mm en la zona semidesértica, a 1500 mm en los declives de la sierra. El régimen de lluvias, en combinación con la latitud y las variadas alturas de un país montañoso, produce infinidad de microclimas, inscritos todos dentro de tres grandes tipos: el cálido húmedo, el templado y el seco. El clima cálido-húmedo abarca las costas del sur del trópico de Cáncer, el Istmo de Tehuantepec y el sureste; el clima templado cubre las sierras madres Oriental y Occidental y los valles centrales; el clima seco abarca las zonas bajas de todo el territorio, al norte del trópico de Cáncer. Estos tres grupos de climas inducen a soluciones diversas y comunes en la vivienda campesina.¹

¹PRIETO, Valeria, Vivienda campesina en México. Studio Beatrice Trueblood, México, 1994, (56).

3.1.1 CÁLIDO HÚMEDO.

Condicionadas por el clima cálido-húmedo, las casas de esta región, rectangulares, se levantan principalmente alargadas y se orientan a los vientos dominantes para ser más frescas. Las puertas y ventanas se colocan opuestas, a fin de obtener una ventilación cruzada en la mayor parte del área de la casa. Con frecuencia el sistema constructivo de los muros deja intersticios que favorecen la corriente del aire y a su vez producen frescura en su interior.

En el clima cálido-húmedo es necesario un tipo de techo que permita el rápido escurrimiento del agua de lluvia. Los techos se hacen inclinados, de dos y cuatro aguas, o cónicos, con inclinación aguda y diversa, según los materiales. Cuando son de paja, zacate, palma o tejamanil, la pendiente y por consiguiente la altura del techo, es mayor que cuando se usa teja. Los aleros son amplios para proteger los muros de la erosión del agua y evitar y disminuir la insolación. La altura del techo permite acumular mayor volumen de aire caliente en las partes altas, con la consecuente mayor frescura y comodidad de las partes bajas.

La radiación del calor absorbido por el techo hacia el interior de la vivienda, también se atenúa con el material del que está hecho, en particular los elementos vegetales, que a su escasa conducción térmica, agregan las miles de pequeñas bolsas de aire que quedan entre las capas sucesivas del material utilizado. Cuando la teja se arma a manera de cubierta de otro techo, también deja parcialmente una capa de aire intermedia que actúa como aislante térmico.



Tizimín, Yucatán.

Entre las viviendas de clima cálido-húmedo es interesante la casa redonda de techo cónico, hecha con muros de varas, oate o bajareque y techo de palma; tiene la

ventaja de que cualquiera que sea la dirección del viento, siempre se mantiene ventilada. Sus muros redondos no presentan superficies perpendiculares a los rayos del sol y por lo tanto se calienta menos.²

3.1.2 CLIMA SECO.

El clima seco se caracteriza por la baja humedad, la poca lluvia, la alta temperatura durante el día y los fuertes contrastes durante la noche. Se ubica principalmente en las regiones del norte del trópico de Cádiz y al sur de éste. Abarca Zacatecas, parte de San Luis y Querétaro, el noroeste de Jalisco y el Valle del Mezquital. En el norte del país, en los estados de Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, se registra la radiación solar más intensa, al tener cielo despejado durante casi todo el año y carencia de lluvias.

Como consecuencia de las características del clima seco, en estas regiones las casas son generalmente rectangulares, con los lados menores orientados al oriente y poniente, con techos planos muy altos, generalmente a más de 3m, con el fin de presentar la menor superficie perpendicular a los rayos directos del sol y almacenar suficiente aire sombreado en el interior.

El techo se construye de materiales de baja conducción térmica, de un espesor considerable y de colores claros, para reflejar los rayos solares y disminuir la radiación al interior, con una pequeña pendiente para evacuar el agua de las precipitaciones ocasionales del verano. En algunas regiones el techo se hace abovedado, tal como es usual en las regiones desérticas árabes.

Dada la vegetación (chaparrales y arbustos) de la zona de clima seco, la madera es escasa, pero son frecuentes los pequeños techos, a manera de enramada que sirven para proteger las puertas y ventanas y para sombrear los muros. Los muros se hacen gruesos y en ocasiones dobles, para que el calor radiante recibido en la pared exterior no penetre durante el día y proporcione calor durante la noche. Se construyen con mampostería de piedra o ladrillo, o bien de adobe mezclado con los materiales anteriores.

Las ventanas son pequeñas y escasas, para apenas permitir la entrada de la radiación solar directa e indirecta del exterior, así como para evitar el paso del aire caliente y de la arena acarreada por los intensos vientos.

En las regiones costeras, a donde llega la brisa del mar, la casa se compone de dos tipos de habitaciones: una abierta únicamente sombreada, y otra cerrada, de materiales aislantes. La abierta se orienta hacia la brisa y se usa como habitación diurna,

²IBIDEM (60-62)

aunque en el verano se emplea también durante la noche.³

En la medida en que las casas tienen más habitaciones, tienden a crear espacios internos con microclimas más favorables y sombreados. Así las casas tienen forma de "L" o de "O", como la casa de patio en medio. Este tipo de casa se cierra hacia el exterior y se abre hacia el interior, frecuentemente con un claustro. El patio actúa como un pozo de aire fresco que penetra al interior de las habitaciones. Para refrescar aún más el patio, éste se proyecta en medio y en su centro se instala una fuente. Generalmente los patios se bordean con macetas y plantas.

Los muros principalmente afrontan al viento que, por la poca vegetación, corre a ras del suelo casi sin ningún obstáculo. Algunas veces llega a ser tan fuerte que obliga a reducir considerablemente el tamaño de las casas y sobre todo, a presentar al viento estructuras más pequeñas. Otras veces los muros se hacen pesados y con taludes para oponer resistencia a los vientos.

Las casas, compactas y cerradas, casi siempre sin ventanas, se construyen con paramentos contiguos para disminuir así la insolación de los muros y reducir el calor radiante al interior.



Guanajuato, Guanajuato.

3.1.3 CLIMA TEMPLADO.

Los climas templados se hallan principalmente en las regiones montañosas del país y en los valles altos, conocidos como altiplano mexicano. Las casas características de estas regiones ofrecen una gama más amplia de soluciones. El clima ofrece condiciones confortables para la actividad humana. Sin necesidad de producir microclimas que se aparten considerablemente del ambiente y por la misma variedad

³IBIDEM (64-69)

que de éstos hay en el clima templado, existe una gran diversidad de soluciones arquitectónicas satisfactorias.

En las variedades del clima templado, se comparten soluciones características de los climas secos y tropicales, sólo que más moderadas. Las formas predominantes son rectangulares y cuadradas. Estas últimas, generalmente más frecuentes en las regiones frías.

Los techos que predominan son los de un agua, generalmente hacia la fachada, pero desde luego en las regiones con microclimas más lluviosos, los techos son de dos y cuatro aguas. Los grandes aleros no son comunes en las zonas de lluvias moderadas de verano, tanto por la menor precipitación pluvial como porque el sombreado de los muros es innecesario. Al contrario, resulta conveniente que las fachadas se calienten y que el calor radiante produzca una temperatura confortable durante la noche.

Los muros son gruesos para atenuar la radiación. Las ventanas son en mayor número y más amplias, aunque con frecuencia se remeten y se protegen con aleros y guardapolvos que atenúan la radiación y protegen de las lluvias.⁴



San Sebastián del Oeste, Jalisco.

3.1.4. ESPACIO INTERIOR Y EXTERIOR.

Un rasgo de la cultura indígena que tiene un efecto determinante en la arquitectura, es la costumbre de utilizar el espacio interior de la vivienda sólo para

⁴IBIDEM (70)

dormir y guardar, mientras que en el exterior, alrededor de la casa y entre ésta y el camino o calle, se realiza una gran cantidad de actividades.

En función de los espacios dedicados a múltiples quehaceres, la casa se ubica en medio del predio, algunas veces con la cocina adosada o bien en una estructura aparte. Tanto los muros como las techumbres son aprovechados para depositar alimentos para su secado. El pórtico adquiere vital importancia como cuarto al aire libre o patio sombreado en el que, además de realizar actividades domésticas, sirve de lugar de reunión para familiares y amigos. En la influencia de la cultura hispana la diferencia está en la casa alineada a la calle, y en que las actividades se llevan a cabo en el interior de los cuartos, en los corredores o en el patio de atrás.⁵

⁵ IBIDEM. (30)

3.2. LOS TIPOS DE TECHOS UTILIZADOS EN LA VIVIENDA VERNÁCULA.

Los diferentes tipos de vivienda se distinguen por su planta y la forma de sus techos, siendo estos últimos los determinantes para definirlos. Cuatro son los tipos de planta: cuadrada, rectangular, circular y elíptica. Ocho son los modelos de techo: plano; inclinado, con tres variantes: de un agua, de dos aguas y de cuatro aguas; abovedado, con dos variantes: bóveda curva y bóveda plana; cónico o semicónico, y absidal.

La forma peculiar de construir en cada comarca, produce los subtipos regionales y las variaciones singulares que dan lugar a distintas modalidades.

3.2.1. TECHO PLANO.

La vivienda con techo plano es característica del norte del país. Constituye el tipo dominante en el desierto y las estepas, predomina en las regiones de clima seco y en las de transición al templado lluvioso.

Las casas de techo plano son de planta cuadrada o rectangular, con muros altos y gruesos. En su mayoría son de piedra, lodo y cal, como corresponde a un área de escasa vegetación y poca lluvia. En las extensas llanuras nortenas predomina el adobe y el enjarre; en las más pedregosas y quebradas, al sur, la piedra es casi el material exclusivo. En el norte predominan las viviendas con material aparente, en tanto que al sur abunda más el acabado exterior y la ornamentación de las fachadas, que es sencilla y se logra mediante los marcos de las puertas y ventanas, gárgolas, cornisas de techo, el rodapié y la prolongación de las vigas.

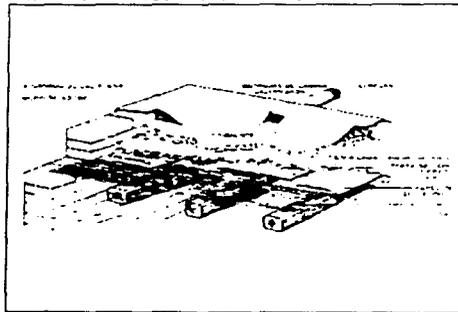
En las costas que poseen madera, los apoyos aislados se hacen mediante una estructura de troncos con muros de bajareque y techos de terrado. Los muros de carga se hacen de adobe, de piedra, tabique o tepetate unidos con mortero. En Yucatán se acostumbra el ripio, que consiste en pequeños trozos de laja y piedra caliza, unidos con cal, arena y pedacería de concha marina.

Este tipo de vivienda presenta un techo plano de pendiente muy leve que complementa con gárgolas, que tienen como función permitir el desagüe. Otra forma de techo plano es la conocida como bóveda plana, la cama que soporta el material del techo es de ladrillo sobre vigas de madera. Los claros entre viga y viga se salvan uniendo con yeso los ladrillos, generalmente colocados en forma de petatillo; sobre esta primera capa de ladrillo, se coloca otra, cuatrapeada y unida con cemento o cal en vez de yeso.

La cama sobre la que se coloca el terrado, se hace sobre una estructura de vigas

con una separación de 50 a 60 cm y con una pendiente del 5%. Sobre ésta se coloca el material que conforma propiamente la cama; éste puede ser de tablas, tejamanil, varas, carrizos, tabillas o paja. El terrado consiste en una capa de tierra, arena y cal, y en ocasiones también de ladrillo. Cuando las camas son de petates y cartones, el terrado se compone de lodo, arena y cal o cemento. En general, el sellador superior puede ser de una lechada de cal o cemento, y cuando se carece de estos materiales, se hace con tierra lama o tierra caliza, con el inconveniente de tener que reponerlo anualmente, al término de la temporada lluviosa del verano, que lo lesiona.⁵

Techumbre de terrado con papel de desperdicio



Techo plano

3.2.2. TECHOS DE UNA SOLA PENDIENTE.

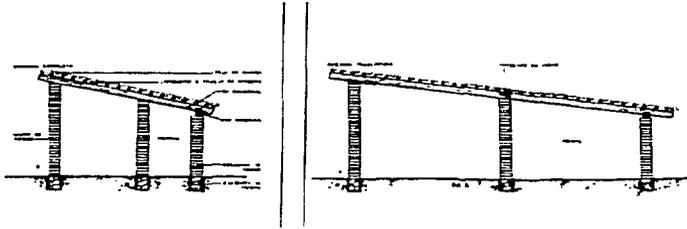
La casa con techo de un agua es frecuente en el centro del país, en las zonas no muy lluviosas, como las estepas, las sabanas y las praderas. Se singulariza por su techo inclinado, que se apoya en dos muros de diferente altura. Al igual que la casa de techo plano, la de un agua facilita los paños comunes, de ahí que predominen en las zonas compactas de los pueblos campesinos y en las ciudades.

Diversos son los materiales de que se puede componer el techo de una pendiente: paja, zacate, palma, teja o lámina. El techo, al apoyarse en muros de diferente altura, permite señalar el declive, y se sostiene comúnmente sobre una

⁵IBIDEM. (136)

estructura de madera.

El pórtico puede modificar el criterio que forma la estructura, ya que se puede componer mediante una viga entera con un apoyo intermedio, que viene a ser el muro más bajo de la casa.



Techos de una sola pendiente

La teja constituye muchas veces el techo en sí; en otras va sobre un terrado o una bóveda plana de ladrillo. El techo lleva un alero de regular amplitud por encima del muro más bajo, que generalmente tiene 2.50 m de alto, mientras que el más alto es de 3.50 m. En los otros muros la teja sobresale apenas una pestaña. Cuando el techo es de lámina, es común levantar un pequeño pretil que semeja una prolongación de los muros y deja un espacio libre por el lado de la parte más baja, para que escurra el agua.⁶

3.2.3. TECHO DE DOS AGUAS.

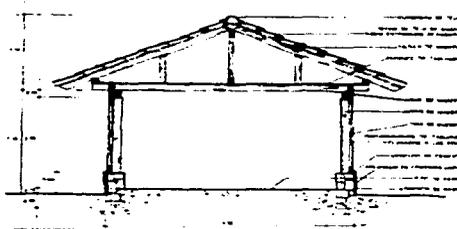
La casa más abundante en el campo mexicano es la vivienda con techo de dos aguas, que por su altura, resulta muy fresca. Debido a que el agua escurra con mayor rapidez por las dos pendientes, estos techos son ideales para las zonas lluviosas, tanto templadas como tropicales. En el centro del país, generalmente la altura del techo es equivalente a dos tercios del muro, mientras que en las zonas lluviosas es igual o mayor que los muros. En regiones secas hay excepciones a estas reglas: las casas de zacate y maguey del Valle del Mezquital tienen el techo dos veces más alto que los muros, lo que las hace más distinguidas.

⁶IBIDEM. (146)

La inclinación del techo varía en relación al material del que está hecho y a la lluvia que tiene que afrontar. La paja y la palma requieren más pendiente que la teja y entre mayor es su inclinación mayor es también la altura del techo. En Chihuahua y Baja California, donde llueve poco, la altura del techo equivale a sólo un tercio de los muros, con excepción de las casas tepehuanas, que tienen más pendiente debido a las esporádicas nevadas.

En los techos se acostumbra usar el terrado, la bóveda plana de ladrillo, la teja, los tablonces, troncos, tejamanil, paja de trigo, cebada o arroz; el zacate, caña de maíz o de azúcar; la palma, la hoja de plátano o de maguey.

Los nudos, donde se unen las diversas piezas de madera de la estructura, van amarrados con bejucos, lianas o cuerdas, como ocurre en la selva tropical lluviosa, o ensamblados, como en Michoacán, o clavados; aunque lo más común es la combinación de estos tres sistemas.



Techo de dos aguas

El tapanco o ático se hace descansar sobre los elementos horizontales de la estructura, formando un entrepiso de troncos, tablas o carrizo, que simultáneamente es el plafón del techo de la casa y el piso del tapanco.⁷

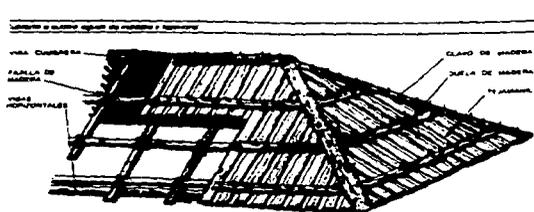
3.2.4. TECHO DE CUATRO AGUAS.

La acentuada inclinación de los techos de estas casas, da como resultado una gran altura en las habitaciones y las hace adecuadas para las zonas lluviosas, ya que por la amplitud mayor de su superficie de cuatro aguas, la lluvia escurre con más rapidez. Con esta techumbre la casa ostenta aleros por sus cuatro costados, mismos

⁷IBIDEM. (148)

que protegen sus muros del agua y del sol. El escaso calor radiante por los muros protegidos y la frescura de techos tan elevados, hace que esta casa sea idónea tanto para las regiones calurosas como para las zonas de clima extremadamente lluvioso. Son características de Oaxaca, Los Altos de Chiapas, del norte de Veracruz y las sierras de Puebla, Michoacán y Chihuahua. Por su difícil alineación, las casas se encuentran diseminadas en el campo o apartadas unas de otras cuando conforman pequeños poblados.

El techo de cuatro aguas está armado de tal manera que es independiente de los muros sobre los que descansa y que reciben la carga en forma continua a lo largo de los cuatro lados. Esta total independencia de la estructura, permite que estos techos puedan trasladarse de un lugar a otro sin desarmarlos, o ser restituidos a los muros cuando los vientos en extremo veloces arrasan una comarca; fundamentalmente resultan útiles por su gran estabilidad contra los sismos.⁸



Techo de cuatro aguas

3.2.5. TECHO DE FORMA ABSIDAL.

Esta vivienda se construye con una estructura de troncos amarrados con bejucos. No se requieren cimientos; los postes se hincan en el suelo a una profundidad de 80 cm. La estructura se organiza en forma de rectángulo, con cuatro horcones, encima de los cuales se colocan transversalmente morillos, que sobresalen en varios centímetros y en cuyas salientes se asientan otros, longitudinales, para integrar la estructura básica que ha de soportar los muros y la techumbre. Los pisos se hacen de tierra apisonada o con zaxcab (tierra calcárea particular de Yucatán, de color hueso y de una compactación excelente. Se utiliza para pintar muros, rodajes, bardas y pisos).

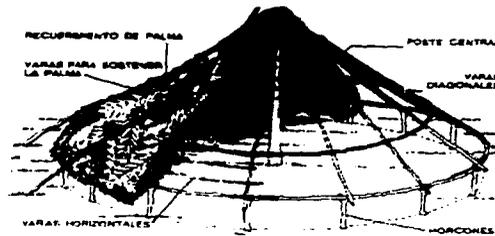
La techumbre se inicia colocando sobre vigas transversales los morillos

⁸IBIDEM. (156)

construye el tipo de casa de cubierta cónica, lo hace con ligeras variantes propias de la cultura.

Una solución contra el bochornoso clima es la casa sin muros con techo a doble nivel. Está formado por medios conos, uno mayor que otro, ligeramente traslapados, siendo el mayor más alto. Entre ambos se deja una abertura de 30 cm, por la que circula el aire caliente. La estructura carece de postes en medio y se apoya en dos semicírculos de horcones. Una variante de esta casa es que el cono grande tenga forma piramidal.

Otra modalidad de la casa circular con techo cónico, es la que tiene muros a base de troncos verticales sin recubrimientos o recubiertos con barro, que al mismo tiempo que la protegen del frío y la humedad de la noche, dejan una gran cantidad de intersticios por los que penetra el viento.¹⁰



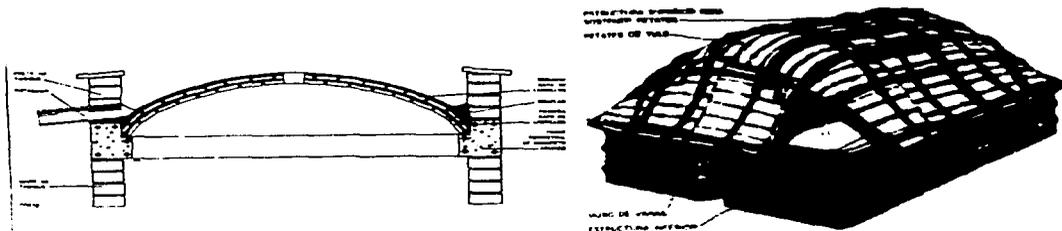
Techo cónico

3.2.7. TECHO TIPO BÓVEDA.

Las casas campesinas con techo de bóveda, se encuentran sólo en dos puntos concretos de la República: en Los Altos de Jalisco, en los alrededores de Lagos de Moreno y en Coahuila, cerca de Melchor Múzquiz, donde habita una comunidad kikapú. Las bóvedas de Jalisco son de ladrillo, mientras que las de los kikapúes la mayoría son

¹⁰BIDEM. (188)

de tule y algunas de yuca.¹¹



Techos tipo bóveda

¹¹IBIDEM. (198)

3.3. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO UTILIZADOS EN EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO.

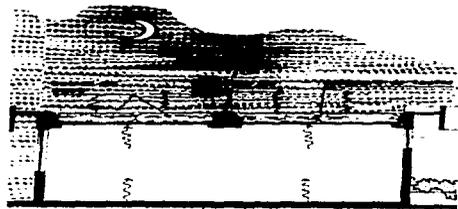
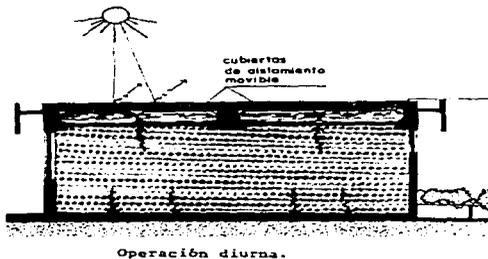
Los sistemas que a continuación se detallarán, son sistemas de recolección de frío, producidos por la radiación nocturna. Se efectúan de la siguiente manera: la radiación nocturna puede producir el enfriamiento de un cuerpo masivo de agua o mampostería exponiéndolo al frío nocturno. Aún cuando ello depende de un cambio notorio de temperatura diurna en relación a la nocturna, un cielo nocturno despejado de nubes, actuará como un gran recipiente o depósito que absorberá el calor acumulado durante el día en la masa de agua, mampostería u otro material hasta que la temperatura se iguale o sea más fría que la temperatura del aire nocturno. Durante el día esa masa actuará como "almacenamiento de frío" para absorber el calor de las habitaciones, suministrando así enfriamiento natural.

3.3.1. SISTEMA SKYTHERM.

Este sistema desarrollado por Harold Hay, utiliza el techo con un estanque de agua colocado encima, para suministrar calefacción solar en invierno (días templados) y enfriamiento por convección y radiación nocturna en verano.

El agua puede ser almacenada en recipientes (Flat pans) o en bolsas plásticas, colocadas sobre láminas de metal y soportadas por paredes de concreto o vigas de madera. Los recipientes de agua están cubiertos por paneles de aislamiento, horizontales y móviles, que pueden ser removidos en un momento determinado.

Para usar este sistema como mecanismo de enfriamiento, se colocan los paneles de aislamiento sobre los recipientes de agua durante el día, para reducir la ganancia térmica del exterior.



Durante la noche las bolsas plásticas son expuestas al cielo, al remover los paneles de aislamiento. El material plástico es parcialmente transparente a la radiación de onda larga, el agua emite radiación hacia el cielo nocturno y es enfriado por ese proceso. En adición a ello, debido a que la temperatura del agua en la noche está usualmente por encima de la temperatura ambiente, debido al exceso de calor absorbido de los espacios debajo del techo durante el día, existe también pérdida de calor por convección de las bolsas de agua hacia el aire del ambiente.

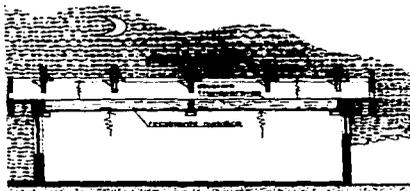
Al estar las bolsas de agua en contacto con el techo metálico, el cielo raso actúa como un panel de enfriamiento para el espacio ubicado debajo de esa superficie. Durante el día, el cielo raso absorbe el calor de esos espacios, el que penetra a través de las aberturas exteriores y a través de los cerramientos exteriores.

Cuando se requiere de enfriamiento adicional por evaporación, se activa un sistema de aspersión. Experimentos realizados en un modelo en Phoenix, U.S.A. en 1967, han demostrado que ese enfriamiento puede ser logrado al irrigar a intervalos regulares (15 segundos cada 10 minutos) por medio de tubos perforados de PVC ubicados en la parte extrema norte y sur del techo.

Es importante hacer notar que la eficiencia del sistema Skytherm, se ve disminuida, por servir tanto para calefacción como para enfriamiento.¹

3.3.2. SISTEMA LIVING SYSTEM.

Este sistema fue desarrollado por Johnathan Hammond del Living Systems en Davis, California.



¹GONZÁLEZ,E., Hinz,E.,De Oteiza,P.,Quiros,C., Proyecto Clima y Arquitectura,Vol.3, G.G., México,1986.(107-109)

Es un sistema que utiliza agua en el techo y paneles de aislamiento mecánico. La diferencia mayor de este sistema en relación al Skytherm consiste en el diseño de los paneles de aislamiento, los estanques de este sistema están cubiertos por paneles abisagrados, los cuales se abren y se cierran por medio de un ariete hidráulico.

El agua es contenida dentro de recipientes metálicos galvanizados con cubierta asfáltica cubiertos por plástico transparente de vinilo y apoyados sobre vigas de madera. Los paneles aislantes están cubiertos en la superficie interna por una capa de material reflectivo.

En el invierno para efectos de calefacción, están abiertos y orientados hacia el sur, de tal manera que la radiación solar al "chocar" contra los paneles refleja hacia el agua. De esta manera, la intensidad de la radiación absorbida en el estanque de agua se aumenta.

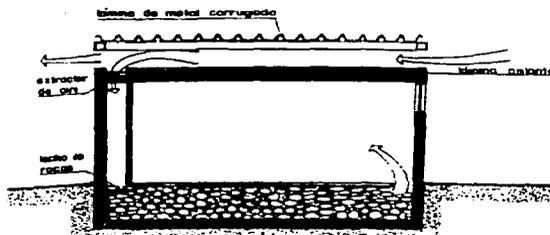
En el verano para los efectos de enfriamiento, el patrón de abrir y cerrar los paneles se invierte, y el estanque de agua está expuesto durante la noche al cielo nocturno y aislado durante el día. El fondo del recipiente está expuesto directamente hacia el interior de los espacios, de tal manera que el recipiente actúa como elemento térmico radiante en invierno y como elemento de enfriamiento convectivo y radiante en verano. Un modelo fue construido en Davis, U.S.A, aplicando este sistema. Durante un verano típico con temperatura ambiente oscilando entre 15.5°C a 43°C, la temperatura interior oscilaba entre 21°C y 26°C.²

3.3.3. TRAMPA DE RADIACIÓN DE TECHO.

Este sistema (Roof Radiation Trap System) fue desarrollado por B. Givoni.

En este sistema, la capa de aislamiento es cubierta por láminas de metal corrugado y pintado de blanco en su lado exterior. La pintura es necesaria debido a la baja emisividad del metal, de tal manera que la capa de pintura sirve como superficie radiante.

²BIDEM (109-110)



La Trampa de Radiación de Techo de B. Givoni.

Durante las horas del día, el sistema no es activado y, la temperatura del techo de metal es establecida por el equilibrio entre la radiación solar absorbida (minimizada por la pintura blanca) y la pérdida de calor por radiación de onda larga hacia la bóveda celeste y por convección

Durante la noche el metal pintado del techo, se enfría por radiación de onda larga a una temperatura por debajo de la temperatura ambiente. La disminución de la temperatura, depende de la nubosidad del cielo, presión de vapor del ambiente y las condiciones del viento. Los valores típicos oscilan entre 4 a 9°C por debajo de la temperatura ambiente.

Para poder utilizar el frío producido por la radiación de onda larga, el aire es succionado por un extractor debajo del metal corrugado del techo, el aire es enfriado por contacto con el metal frío a una temperatura de 1 a 3°C por debajo de la temperatura ambiente, dependiendo de la tasa de flujo de aire y las condiciones ambientales.

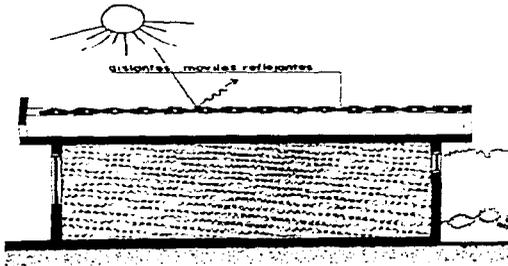
El aire frío es pasado a través de un depósito de rocas, almacenando el frío para ser utilizado en el enfriamiento de la edificación durante el próximo día.³

3.3.4. TECHO DE CONCRETO CON AISLAMIENTO OPERABLE.

Los resultados obtenidos por H. Hay y J. Hammond, llevaron a B. Givoni, a

³IBIDEM (111-112)

experimentar sobre el efecto de radiación nocturna en el enfriamiento de techos.



Operación diurna



Operación nocturna.

Techo de concreto con aislamiento operable.

En experimentos realizados en Israel en techos de concretos de 15 cm de espesor con aislante móvil, se obtuvieron resultados muy similares al de los estanques de agua.

En la práctica este sistema es más conveniente por cuanto presenta menos problemas de tipo estructural y de impermeabilización.*

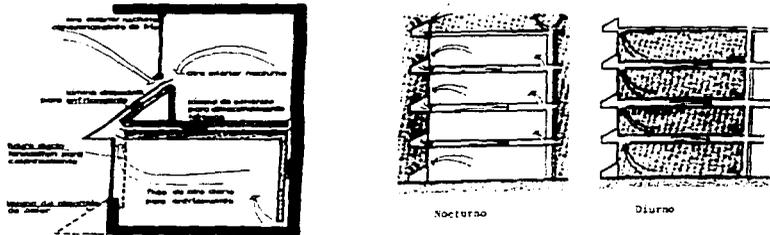
3.3.5. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO NOCTURNO POR N. PINNEY, FONDA BONARDI Y YING NIEN-YU.

Este sistema consiste en un modelo de ensayo, el cual simula dos pisos de una porción de un edificio, con su transferencia de calor diaria y su ventilación.

El sistema consta de los siguientes elementos: Un antepecho con una inclinación de 45° el cual está cubierto con una lámina de metal disipadora, cubierta de un material selectivo frío (pintura blanca a base de óxido de titanio). Los cuales conforman un ducto que está conectado al piso de concreto usado para el almacenamiento térmico. Por

*IBIDEM (112)

medio del uso estratégico de los cerramientos o amortiguadores de frío, el disipador durante la noche enfriará la estructura del edificio por enfriamiento nocturno, o sea por radiación y convección; este frío se almacenará en el piso de concreto. Durante el siguiente día la habitación debajo de este piso se enfriará pasivamente, utilizando el frío que se desprende del entrepiso. Este efecto de termosifón ocurrirá en dirección hacia abajo de piso a piso en una edificación de varios niveles.⁵



El sistema de enfriamiento nocturno de N. Pinney, Fonda-Bonardi y Ying-Nien Yu.

3.3.6. SISTEMA DE PARED DE AGUA.

Las paredes de agua exteriores o paneles de tambor, están protegidos durante el día con un aislamiento y abiertos durante la noche, funcionando en forma muy similar a los estanques de agua en el techo.

El sistema es análogo al de H. Hay con la diferencia fundamental de que uno está horizontal (estanque de agua) y el otro es una pared vertical de agua, y con un rendimiento de enfriamiento menor.⁶

3.3.7. TECHOS HUECOS VENTILADOS COMO ESCUDO A LA RADIACIÓN SOLAR.

Se trata de un estudio experimental y teórico elaborado por Aguirre, J.; Sámano, D.A.; Morales, J.D.; Alvarez, G.S.; Vazquez, B.; de la cavidad formada por los huecos de las bovedillas con las que están construidos los techos de los cubículos del

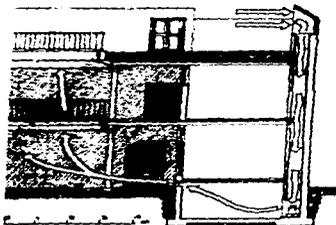
⁵BIDEM (112-115)

⁶BIDEM (115)

Laboratorio de Energía Solar, en Temixco, Mor., en este sistema la placa superior del techo está en contacto con la radiación solar periódica y el aire del medio ambiente, y la placa inferior que forma el plafón está en contacto con el aire del interior del cubículo; el sistema está ventilado como un medio de descargar el calor que recibe por medio de la radiación solar la placa superior del techo.⁷

3.3.8. RESPIRADORES DE TRAMPILLA.

También llamados torres de viento, se pueden encontrar en regiones de clima cálido desde Pakistán a Egipto y Norte de Africa, pasando por los estados del Golfo



Respiradero de Trampilla, Casa oriental en Iraq.



Torres de viento en Bastakia, Dubai.

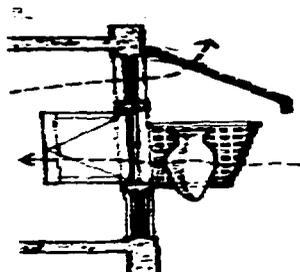
Pérsico, aunque en sus detalles y formas pueden variar de una región a otra, pero permaneciendo idéntico en principio fundamental de recoger las brisas que corren por encima del edificio y que no encuentran obstáculos a su paso. En algunos lugares estos respiraderos son unidireccionales, orientados para recoger las brisas más favorables, mientras que en otros lugares se utilizan los vientos procedentes de todas las direcciones mediante trampillas pivotantes y torres multidireccionales.⁸

3.3.9. REFRIGERACIÓN POR EVAPORACIÓN.

⁷MORALES, J.D., Estudio de Techos de Edificios Construidos para operar en forma pasiva, Tesis de Doctorado en Arquitectura, UNAM, México, 1993.

⁸ KONIA, Allan, Diseño para Climas Cálidos, Trad. Rafael Fontes, Serie Energía, Clima, Diseño, H. Blume Ediciones, España, 1981.

El aire caliente al pasar sobre el agua hace que ésta se evapore, y como en este proceso se absorbe una cantidad importante de calor, el aire se enfría. El agua evaporada es retenida por el aire, aumentando así su humedad; por esta razón el enfriamiento por evaporación sólo puede utilizarse en climas relativamente secos. Un sistema consiste en la utilización de grandes recipientes de barro poroso, llenos de agua, la cual logra filtrar a través de las paredes del recipiente, humedeciendo el exterior y enfriando el aire que pasa, al evaporarse. En los respiraderos de trampa se utilizan a veces unos lechos de carbón vegetal húmedo sobre los que pasa el aire antes de entrar a la habitación. El mismo principio se puede utilizar para canalizar las brisas y hacer que pasen sobre estanques o fuentes antes que entren al edificio, para hacer que el aire enfriado y humedecido entre en el edificio, el estanque debe estar rodeado por muros en dos de sus lados, mejor tres.⁹



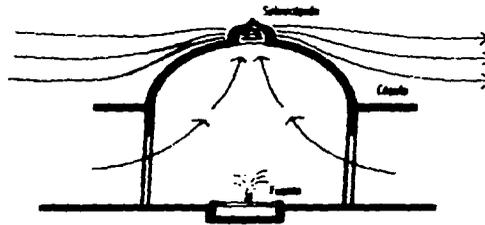
Ventana de refrigeración por evaporación.

3.3.10. BÓVEDAS Y CÚPULAS.

Los techos curvos son otra opción de diseño para climas cálidos, pues ofrecen muchas ventajas con respecto a los techos planos. Primero, el aire caliente acumulado en la parte superior de un techo curvo se encuentra siempre por encima de la zona habitable; segundo, la radiación solar que recibe un techo curvo se disipa fácilmente por convección entre la gran superficie curva y el flujo de aire que circula velozmente sobre él. El techo curvo es más eficiente si posee un respiradero. El funcionamiento de un respiradero se basa en el hecho de que cuando el aire pasa por un objeto cilíndrico o esférico aumenta su velocidad en el ápice del objeto, por lo que disminuye allí su presión. Si en el ápice hay un orificio, la diferencia de presión induce al aire caliente,

⁹ IBIDEM.

caliente, subyacente al techo, a salir por el orificio. Las sobrecúpulas protegen a los respiraderos y encauzan el viento.¹⁰



Aplicación del Techo con bóveda.

¹⁰ GARCÍA, J.R., Fuentes, V., Viento y Arquitectura, Ed. Trillas, México, 1995.

IV. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL SITIO.

4.1. DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Tabasco está situado entre las Montañas del Norte de Chiapas y el Golfo de México. Constituye, junto con los estados de Chiapas, Campeche, Yucatán y Quintana Roo, el Sureste de la República Mexicana, región que se localiza al este del istmo de Tehuantepec.

Según algunos autores, esta región corresponde, orográfica, climatológica e hidrográficamente, a la América Central, la cual sitúan en la zona tropical que se extiende, del noroeste al sureste, desde el istmo de Tehuantepec mexicano hasta el valle del río Atrato en Colombia.

"Hay agua por todas partes" relata Melchor de Alfaro en el siglo XVI, quien se encarga de la Relación de la Provincia de Tabasco. Las imágenes de esta región geográfica de México descritas en este valioso documento proyectan, aunque con algunas distorsiones, la presencia del mundo acuático como elemento modelador del medio físico y de las poblaciones que lo habitan. El complejo sistema hidrológico con sus múltiples corrientes que se unen para formar ríos caudalosos de recorridos irregulares antes de verter sus aguas en el Golfo, se convierte en vastas lagunas rodeadas de manglares y vegetación cambiantes.

En relación al medio geográfico se informa que "El territorio es anegadizo y pantanoso en extremo. Las aguas cuasi continuas experimentándose alguna seca, de los meses de febrero, marzo, abril y mayo... en septiembre y octubre se inunda casi todo el suelo. Toda la provincia se anda en bongos y canoas por ríos que la bañan, y atraviezan... La población se compone de casas de guano levantadas sin orden y carece de cultura toda ella. La tierra es muy fértil y en rigor no se experimenta "escasez"; los productos principales son el cacao, con tres cosechas al año, café, arroz, frijol, tabaco, añil, zarzaparrilla, algodón, caña de azúcar, ixtle, cáñamo, palo de tinte, todo género de madera y pimienta malagueta, mejor conocida como de Tabasco. La provincia comerciaba con Veracruz, Campeche y con las Chiapas por tierra."

Estos breves datos monográficos extraídos de las relaciones geográficas ordenadas por los borbones a los gobernantes coloniales, traducen las condiciones de atraso, pobreza y olvido que sufrió la provincia durante ese periodo. Distante del centro del poder virreinal y dependiente de las autoridades religiosas de Yucatán, Tabasco comenzó a recuperar parcialmente su protagonismo comercial del pasado prehispánico hasta el siglo XIX.

Se señalan algunos rasgos del medio físico de todo el estado, porque resulta indispensable para situarnos de una manera general de como se encontraba

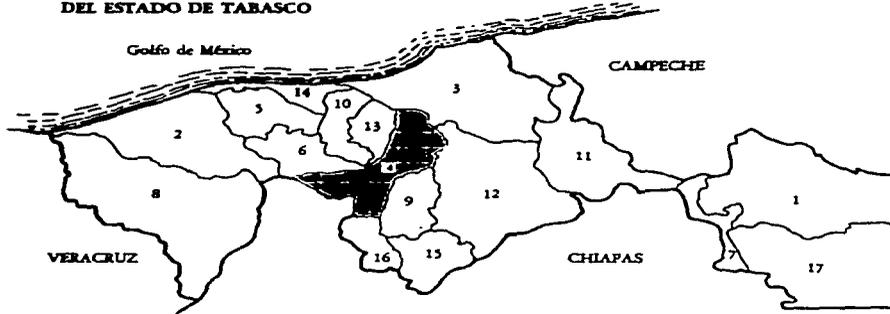
conformada la región. Más sin embargo nuestro análisis detallado se enfocará solamente a la ciudad de Villahermosa, capital del estado.

La ciudad de Villahermosa forma parte del municipio del Centro, Tabasco (4). Con latitud norte 17° 59', longitud 92° 55' y una altitud de 10 msnm.

La topografía es relativamente uniforme, con algunas zonas con pendientes pronunciadas.

La vegetación es abundante, se puede encontrar árboles de framboyan, guayacán, macuilís, que sirven de adorno a las calles principales, como hasta árboles frutales en algunos parques y patios de casas. Así como una gran variedad de arbustos.

**DIVISION POLITICO-ADMINISTRATIVA
DEL ESTADO DE TABASCO**



- | | | | |
|----------------|---------------------|----------------|----------------|
| 1.- Balancán | 6.- Cunduacán | 11.- Jonuta | 16.- Teapa |
| 2.- Cárdenas | 7.- Emiliano Zapata | 12.- Macuspana | 17.- Tenosique |
| 3.- Centla | 8.- Huimanguillo | 13.- Nacajuca | |
| 4.- Centro | 9.- Jalpa | 14.- Paraso | |
| 5.- Comalcalco | 10.- Jalpa | 15.- Tacotalpa | |



4.2 ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO.

4.2.1. EL ESTADO.

El clima Aw de la clasificación climática de Köppen modificado por E. García, que se caracteriza por ser cálido-subhúmedo con lluvias en verano, precipitación del mes más seco < 60 mm, porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la anual, se presenta sólo en una angosta franja costera a lo largo del estado, en tanto que predomina en una amplia zona a lo largo del mismo el clima Am (f), cálido-húmedo con lluvias en verano, porcentaje de lluvia invernal > 10.2, precipitación del mes más seco < 60 mm, presentándose en una franja más al sur el Af, cálido-húmedo con lluvias todo el año.

La temperatura media anual de la casi totalidad del estado de Tabasco es de 26° C., la mínima media anual de 18° C. y la máxima media anual de 36° C. La temperatura mínima extrema registrada fue durante un mes de enero en las estación climática de Mosquitero, municipio de Huimanguillo, en el occidente del estado, y fue de 11.8° C., y la máxima extrema se registró en la estación de Emiliano Zapata, al sureste del estado, durante un mes de mayo en que el termómetro marcó 40.5° C.

Las isotermas se van elevando de las montañas del sur de Tabasco hacia la costa. La causa principal de las lluvias en Tabasco son los vientos alisios del noreste que, cargados de la humedad que absorben al pasar sobre el Golfo de México, son detenidos por las Montañas del Norte de Chiapas, sobre cuyas laderas se elevan, enfrían y sueltan el agua que contienen produciendo, en unión con los ciclones tropicales del Golfo y el Pacífico, las precipitaciones del verano y comienzos del otoño, que son las más cuantiosas. Las lluvias de invierno son provocadas principalmente por los "nortes", vientos fríos de origen continental (provenientes de montañas de los Estados Unidos) que atraviesan el Golfo de México y llegan a Tabasco con velocidades de más de cuarenta kilómetros por hora en su mayoría; se producen en los meses que van de octubre a marzo, pero sobre todo en diciembre, enero y febrero.

Se considera como época de lluvias la que va de mayo a octubre, en la cual las precipitaciones se van incrementando gradualmente hasta alcanzar los más altos niveles en septiembre y octubre, y época de seca la que abarca de noviembre a abril, en que las lluvias disminuyen gradualmente hasta llegar a los meses más secos, que son marzo y abril.

4.2.2. LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA.

De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García, la ciudad presenta un clima Am (f) w" (i)" g, cálido-húmedo con lluvias en verano, porcentaje de lluvia invernal > 10.2, precipitación del mes más seco < 60 mm. con poca oscilación anual entre 5 y 7 ° C de las temperaturas medias mensuales,



presentándose el mes más caliente del año antes de junio.

Para poder analizar adecuadamente la climatología de la ciudad de Villahermosa, se obtuvo información con datos horarios de temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad y dirección de los vientos, así como datos generales de irradiación solar, obtenidos del Meteorológico Nacional de Tacubaya, México.

Se realizó una gráfica de comodidad térmica con las temperaturas medidas durante las 24 horas del día, los 365 días del año.

La gráfica de comodidad térmica consta de 24 columnas por 365 renglones, en cada celda se imprimió con signo (-), las temperaturas que se encontraban por debajo del rango de comodidad térmica (22° C.), con signos (+) las que estaban por arriba de indicando las temperaturas que estaban dentro del rango de comodidad del cuerpo humano, según la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Con las temperaturas media, máxima y mínima diarias, se construyó una gráfica donde se aprecia de manera global el clima de la ciudad, durante casi todo el año la media y máxima están por encima de los 28° C., mientras que la mínima se encuentra entre los 22° y 28° C. Donde el período más cálido se presenta en los meses de mayo - agosto pues comienza la temporada fuerte de lluvias mostrándose una disminución en la temperatura en los meses restantes (septiembre - marzo). La temperatura más fría se presenta en el mes de enero.

La época cálida se caracteriza con una alta irradiación solar de 625 W/m² por día, con temperaturas máxima de 37.6° C y una humedad relativa de 69% y vientos de 30 m/s promedio. La época de bajo calentamiento se presenta en el mes de Enero con una irradiación solar de 570 W/m² con temperatura mínima de 13.5° C. y una humedad relativa de 75 %, con una velocidad del viento de 2.5 m/s.

Ante estos datos obtenidos, se puede apreciar que el clima de la ciudad de Villahermosa es uno de los más difíciles de manejar en el diseño bioclimático debido a sus altos índices de humedad, casi siempre superiores al 70% y con temperaturas que llegan hasta los 37 °C.

La principal estrategia de diseño en este tipo de climas es la ventilación, que en Villahermosa se necesita aproximadamente en un 80 % del tiempo. Por lo cual se considera que sólo un 68 % se podría lograr por medios pasivos, mientras que el

restante sería necesario ventilar y enfriar por medios artificiales convencionales¹.

A fines del otoño y principio de invierno se requiere un poco de calentamiento en las primeras horas de la mañana aunque la temperatura mínima promedio nunca es inferior a 13° C. Esta necesidad de calentamiento abarca un 15.3 % del tiempo, mientras que tan sólo el 1.4 % restante se considera en estado de confort. Durante todo el año es necesaria la deshumidificación del aire ambiente.

¹GARCÍA, Ch.,J.R., 1995, Viento y Arquitectura, Ed. Trillas, México, (140).

VILLAHERMOSA, TABASCO

Clima cálido húmedo

latitud 17°59' longitud 92°55' Altitud 10 msnm

Parámetros	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperaturas (grados centígrados)													
Maxima extrema	40.0	41.0	42.5	45.5	44.5	42.5	40.5	41.0	40.5	40.0	40.5	40.0	45.5
Maxima	29.2	31.6	33.5	35.3	36.5	36.0	35.3	36.0	35.0	33.4	31.5	30.1	33.6
Media	24.0	25.6	27.2	29.1	29.9	29.7	29.2	29.6	28.9	27.7	26.1	24.8	27.7
Minima	18.8	19.7	21.0	22.8	23.4	23.4	23.2	23.2	22.9	22.1	20.8	19.5	21.7
Minima extrema	11	12.0	13.5	12.0	17.5	18.0	18.5	17.0	15.0	17.0	11.0	11.0	11.0
Oscilacion	10.4	11.9	12.5	12.7	13.1	12.6	12.1	12.8	12.1	11.3	10.7	10.6	11.9
Humedad relativa (porcentaje)													
H.R. Maxima	85	80	80	80	80	81	81	81	83	84	80	81	81
H.R. Media	80	78	75	74	76	75	76	75	79	78	79	80	77
H.R. Minima	75	72	70	68	72	69	71	71	75	72	78	79	73
Evaporacion	76.7	93.5	127.1	164.3	168.1	158.3	154.3	156.3	121.9	110.1	90.4	77.3	1504.3
Precipitacion (milímetros)													
Total	167.2	94.2	83.7	61.4	103.7	227.2	239.1	225.6	373.9	309.5	195.6	156.7	2237.8
Maxima	387.0	273.0	277.0	383.0	347.0	752.0	531.0	519.0	735.5	622.7	454.0	393.0	752.0
Maxima en 24 hr.	220.0	124.0	121.0	176.0	140.0	118.0	150.0	110.0	295.0	225.0	160.7	160.0	295.0
Minima	8.0	10.0	11.5	2.0	1.0	72.0	47.3	6.0	58.0	43.0	58.0	20.0	1.0
Dias grado													
General	186.0	212.8	285.2	333.0	368.9	351.0	347.2	359.6	327.0	300.7	243.0	210.8	3525.2
Local	127.1	159.6	226.3	276.0	310.0	294.0	288.3	300.7	270.0	241.8	166.0	151.9	2831.7
Radiacion solar global													
kW/M2 dia	2.977	4.071	4.652	4.071	4.652	4.652	4.652	4.652	4.536	4.071	3.489	3.140	4.536
Fenomenos especiales (dias)													
Lluvia aprec.	9.1	5.9	5.8	3.4	5.9	12.5	13.6	12.8	16.4	14.9	9.5	8.3	118.0
Lluvia inaprec.	2.3	1.7	1.4	1.1	0.9	1.1	2.0	1.9	2.1	1.9	1.6	2.4	20.3
Dias despejados	0.8	2.1	2.1	1.7	1.7	0.8	1.5	0.9	0.6	0.5	0.6	0.8	14.1
Medio nublados	2.0	2.0	2.8	2.7	2.8	1.9	2.0	1.5	1.4	1.9	1.8	1.1	23.7
Dias nublados	26.2	24.3	26.1	25.7	26.5	27.3	27.5	26.6	28.0	28.6	27.7	29.1	327.4
Dias con rocío	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dias con granizo	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dias con heladas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dias temp. elec.	0.0	0.0	0.1	0.4	0.9	3.6	8.7	10.7	10.9	11.8	4.2	0.9	0.10
Dias con niebla	5.2	2.9	1.8	2.4	1.2	0.4	0.2	0.5	0.4	1.3	2.2	4.2	22.6
Dias con nevadas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Viento													
Direccion	S	S	SE	N	SO	S	SO	N	SO	SO	SO	SO	SO
Velocidad (m/seg)	2.5	2.4	2.4	2.4	2.2	3.0	2.6	2.4	2.1	2.3	2.1	2.5	2.4

Fuente: García Ch., J.R., Viento y Arquitectura, Ed. Trillas, Mexico, 1995

VILLAHERMOSA, TABASCO

Clima: cálido húmedo

latitud 17°30' longitud 82°35' Altitud 10 msnm

Temperatura horaria

Mes	Tmax	Tmin	Tmed	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enero	29.2	18.6	24.0	21.4	20.5	19.6	19.2	18.9	18.6	18.1	20.0	21.4	22.1	24.9	26.8	26.0	26.9	26.2	26.1	26.8	26.2	27.5	26.4	25.8	24.5	23.5	22.4
Febrero	31.6	19.7	25.6	22.8	21.6	20.8	20.2	19.6	19.7	20.1	21.1	22.8	24.5	26.5	26.6	30.2	31.2	31.6	31.5	31.1	30.4	29.8	28.8	27.4	26.1	24.9	23.7
Marzo	33.5	21.0	27.2	24.1	23.0	22.2	21.5	21.1	21.0	21.4	22.4	24.1	26.0	28.2	30.3	32.0	33.1	33.9	33.4	32.9	32.3	31.4	30.3	29.1	27.8	26.5	25.2
Abril	35.5	22.8	29.1	25.9	24.9	24.0	23.3	22.9	22.8	22.2	24.3	25.9	27.9	30.1	32.3	34.0	35.1	35.5	35.4	34.9	34.3	33.4	32.3	31.0	29.7	28.4	27.1
Mayo	36.5	23.4	29.9	26.6	25.5	24.6	24.0	23.5	23.4	22.8	24.9	26.6	28.7	31.0	33.2	34.9	36.1	36.5	36.4	35.9	35.2	34.3	33.2	31.9	30.5	29.1	27.8
Junio	36.9	23.4	29.7	26.6	25.5	24.6	23.9	23.5	23.4	22.8	24.9	26.6	28.7	31.0	33.2	34.9	36.1	36.0	35.9	35.2	34.3	33.2	31.9	30.4	29.0	27.8	
Julio	35.3	23.2	29.2	26.2	25.2	24.3	23.7	23.3	23.2	22.6	24.7	26.4	28.5	30.7	32.8	34.5	35.8	36.0	35.9	35.4	34.8	34.1	33.3	32.2	31.0	29.8	28.5
Agosto	36.0	23.2	29.6	26.4	25.3	24.4	23.8	23.3	23.2	22.6	24.8	26.2	28.1	30.2	32.2	33.9	34.8	35.3	35.2	34.8	34.1	33.3	32.2	31.0	29.8	28.5	27.3
Septiembre	35.0	22.9	28.9	25.9	24.9	24.0	23.4	23.0	22.9	22.3	24.3	25.9	27.8	29.9	31.9	33.6	34.8	35.0	34.9	34.5	34.8	33.8	32.6	31.6	30.3	29.0	27.6
Octubre	33.4	22.1	27.7	24.9	23.9	23.2	22.6	22.2	22.1	22.4	23.4	24.9	26.7	28.6	30.5	32.0	33.1	33.4	33.3	32.9	32.3	31.5	30.5	29.4	28.2	27.0	
Noviembre	31.5	20.6	26.1	23.4	22.5	21.8	21.3	20.8	20.8	21.1	22.0	23.4	25.1	27.0	28.8	30.2	31.2	31.5	31.4	31.0	30.5	29.7	28.8	27.7	26.8	25.5	24.4
Diciembre	30.1	19.5	24.6	22.2	21.3	20.5	20.0	19.6	19.5	19.8	20.7	22.1	23.9	25.7	27.4	28.9	29.8	30.1	30.0	29.8	29.1	28.3	27.5	26.4	25.4	24.2	23.2
Anual	33.6	21.7	27.7	24.7	23.7	22.9	22.2	21.6	21.7	22.1	23.1	24.7	26.6	28.6	30.6	32.2	33.3	33.6	33.5	33.1	32.5	31.8	30.6	29.5	28.2	27.0	25.6

Humedad horaria

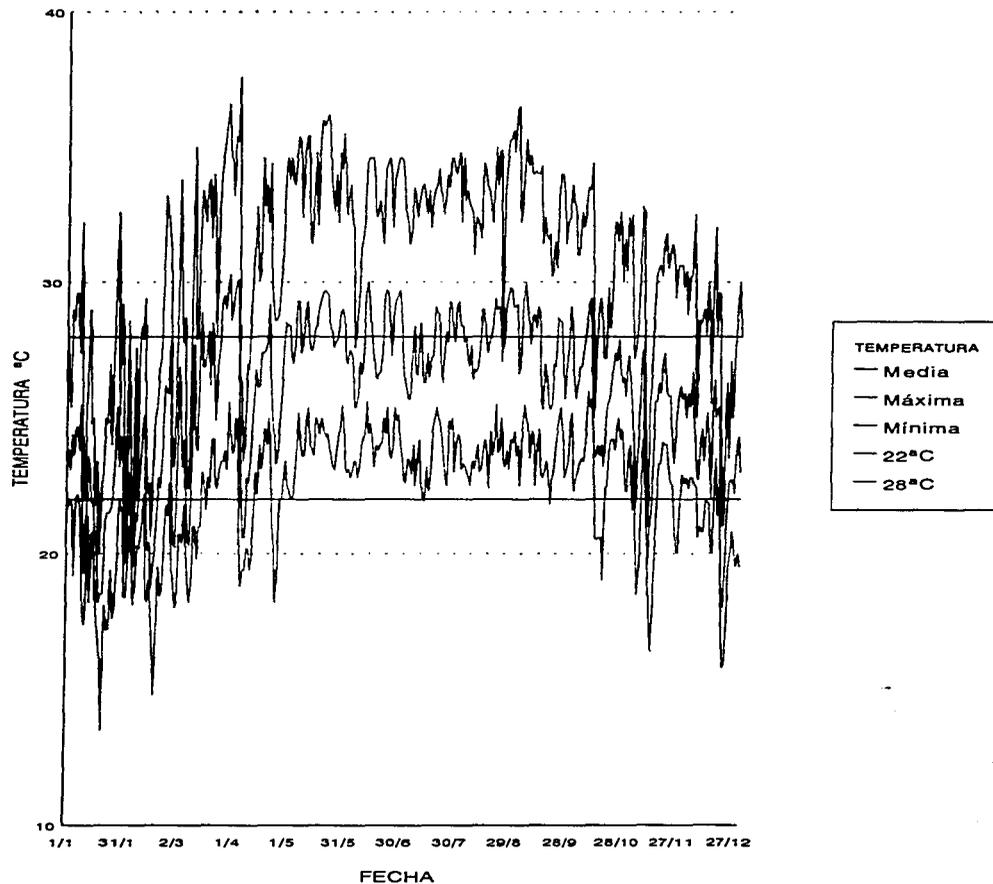
Mes

Mes	HR ma	HR min	HR med	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Enero	65	75	80	82	83	84	84	84	85	84	83	82	80	79	77	76	75	75	75	75	76	77	78	79	80	81	
Febrero	60	72	76	78	78	79	79	79	80	79	78	76	75	74	72	72	72	72	72	72	73	74	74	75	76	77	
Marzo	60	70	75	77	78	79	79	79	80	79	78	77	75	74	72	71	70	70	70	70	70	71	72	73	74	75	76
Abril	60	68	74	77	78	78	79	80	79	78	77	75	72	71	69	68	68	68	68	68	68	69	71	72	73	74	75
Mayo	60	72	78	78	78	78	78	78	80	79	78	76	75	74	72	72	72	72	72	72	73	74	74	75	76	77	
Junio	61	69	75	78	79	79	80	80	81	80	79	78	76	75	73	72	71	71	71	71	71	72	73	74	75	76	77
Julio	61	71	78	78	79	80	80	80	81	80	79	78	76	75	73	72	71	71	71	71	71	72	73	74	75	76	77
Agosto	61	71	78	78	79	80	80	80	81	80	79	78	76	75	73	72	71	71	71	71	71	72	73	74	75	76	77
Septiembre	63	75	79	81	81	82	82	82	83	82	81	79	78	75	73	72	71	71	71	71	71	72	73	74	75	76	77
Octubre	64	72	78	81	82	82	83	84	83	82	81	79	78	77	75	75	75	75	75	75	76	77	77	78	79	80	
Noviembre	60	78	79	78	79	79	79	79	80	79	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	79	79
Diciembre	61	79	80	80	80	80	80	80	81	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Anual	61	72	77	79	79	80	80	81	81	81	81	80	79	77	76	74	73	73	72	72	73	73	74	74	75	76	77

Temperatura máxima y humedad relativa mínima a las 15:00 hrs

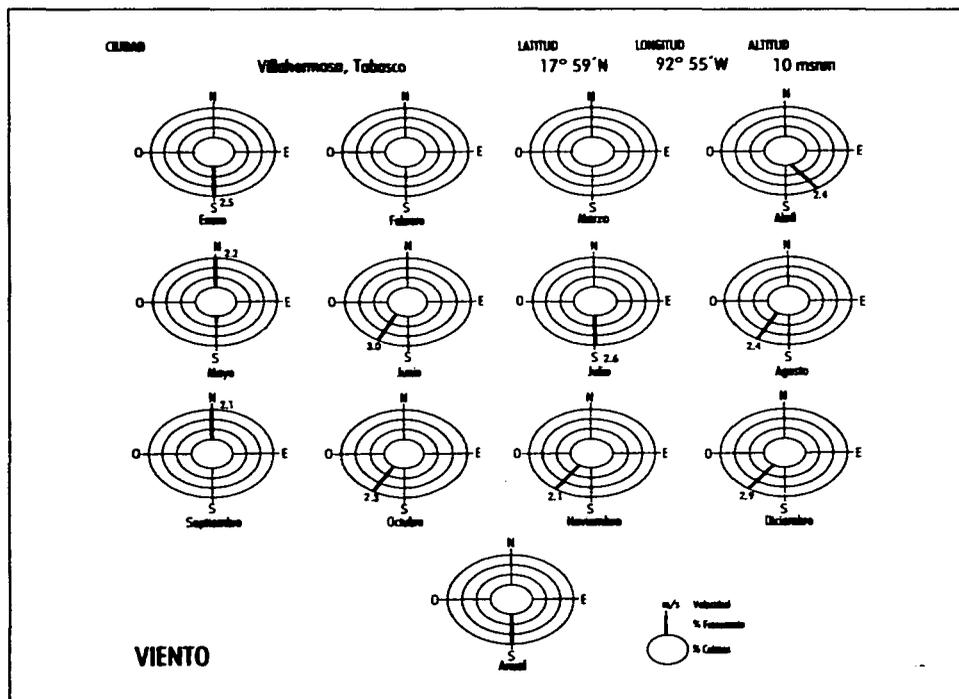
Temperatura mínima y humedad relativa máxima a las 6:00 hrs

Fuente: García Ch., J.R., Viento y Arquitectura, Ed. Tallas, México, 1995



Gráfica de temperaturas, Villahermosa, Tab.

Gráfica de Vientos.



4.3 TIPOLOGÍA URBANA.

4.3.1. EL ESTADO.

La formación histórica de Tabasco, imprimió un carácter específico a la configuración de las arquitecturas actuales tanto rurales como urbanas. También es necesario considerar dos factores claves: 1. El panorama evolutivo del crecimiento de población a partir de la conquista española y 2. La evangelización de la región durante el periodo colonial:

1. La provincia de Tabasco quedó aislada durante todo el periodo colonial y parte del siglo XIX, ya que carecía de metales preciosos y se encontraba hundida en una región selvática, pantanosa y de difícil acceso además de que tenía un desplome catastrófico de la población nativa. En el siglo en que se inicia el contacto con la cultura europea, se muestra el vertiginoso descenso de la población y el punto más bajo se encuentra entre 1579 y 1630, mostrando una leve recuperación a finales del siglo XVIII; continúa la curva ascendente hasta 1879 cuando el estado alcanza los 100,000 habitantes, en 1949 cuenta con 300,000 y entre 1930 y 1960 se mantiene una tasa de crecimiento del 3% gracias al aumento natural. Quizás se deba señalar que los aumentos no fueron uniformes en todas las regiones, ya que en los últimos decenios las migraciones internas favorecieron más la región central (Villahermosa), y algunas zonas de la Nueva Chontalpa.

2. Al hacer el balance de la conquista religiosa se puede afirmar que la Provincia de Tabasco fue un fracaso, ya que la administración eclesiástica dependía de la Diócesis de Yucatán y los dominicos y franciscanos sólo construyeron una iglesia en Oxolotlán que luego abandonaron. Los jesuitas en el siglo XVIII levantaron dos iglesias en Teapa y Tecomajaca; a principios del siglo siguiente, los franciscanos de Orizaba se encargaron de la construcción de un Templo de tres naves en la villa de Jalpa.

Aunque en las postrimerías del siglo XIX la gran mayoría de la población se declaraba católica, prevalecía un marcado anticlerismo y para 1880 había llegado a tierras tabasqueñas el primer pastor protestante, invitado a Comalcalco. La pequeña congregación ganó adeptos rápidamente y en Paraíso, San Juan Bautista (hoy Villahermosa), Cárdenas, Frontera y Jalapa se establecieron escuelas primarias evangélicas. Actualmente no se cuenta con cifras fidedignas del porcentaje de seguidores de las numerosas vertientes del protestantismo, pero su presencia es notable tanto en el medio rural como en las zonas urbanas.

Ambas situaciones provocaron entre otros fenómenos, los siguientes:

a). La ausencia de lenguajes constructivos vernáculos en materia religiosa. De esta forma se constata que los ejemplos de arquitectura actuales, dedicados al culto



católico, carecen de referencias históricas locales, lo que produce soluciones atípicas, insólitas y hasta graciosas en el campo popular, y soluciones muy malas cuando pretenden ser académicas.

b). En el ámbito de la arquitectura doméstica tradicional, la vivienda tabasqueña presenta otras complejidades de acuerdo con su propia historicidad, su génesis y sus transformaciones tipológicas. Sin embargo, es necesario resaltar dos aspectos interesantes de las casas de la región Chontalpa: los pretiles calados y las especificidades cromáticas.

El crecimiento de los poblados en esta región comenzó a ser significativo a partir de los años treinta. Los núcleos de los pueblos históricos en esta parte del trópico mexicano son muy pequeños. Algunos de ellos transformaron completamente sus trazas y vestigios originales y apenas se reconocen, dado que la expansión económica de la región produjo cambios irreversibles en la sociedad, y rupturas en los patrones de vida cotidiana.

A pesar de los cambios introducidos por los españoles en los patrones de asentamiento de las poblaciones tabasqueñas, organizándolas principalmente en pueblos compactos, las tierras bajas conservaban herencias prehispánicas importantes en la disposición de sus asentamientos: La población campesina de estas zonas se encuentra dispersa a lo largo de las orillas de los ríos, veredas y camino, formando verdaderas hileras de construcciones. Es decir "pueblos de línea". Las construcciones ubicadas en estos sitios se denominan ranchos, fincas, pequeños ejidos o simplemente casas habitación, que varían de dimensiones de acuerdo con sus posibilidades económicas o actividades agropecuarias.²

4.3.2. LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA.

Villahermosa, situada en terreno plano, en las márgenes del río Grijalva, es la capital del estado y cabecera municipal del municipio del Centro. Pequeña y apacible hasta hace pocos años, ha crecido en dimensiones y en población, adquiriendo todo el aspecto de una urbe moderna.

En 1596, el centro administrativo de la región se hallaba en una pequeña villa fundada por Cortés en 1519, para celebrar el triunfo español en la batalla de Centla: Santa María de la Victoria. Esta población se encontraba en la margen izquierda del Grijalva, frente a lo que es hoy Frontera, cerca de la confluencia del arroyo El Tapiche con el río. Como los piratas ingleses hacían constantes incursiones a la villa española, estos se replegaron hasta un poblado de pescadores -situado en el centro de la llanura

²LÓPEZ, F. J., Arquitectura vernácula mexicana, Ed. Trillas, México.

tabasqueña- y dos años más tarde, en 1598, el rey otorgó las mercedes reales para la designación de la villa, como Villa Hermosa de San Juan Bautista.



Pese a todas las providencias tomadas por los españoles, los ataques piratas fueron en aumento. A ello se debió que los poderes del territorio tuvieran que ser trasladados en 1666 a Tacotalpa, donde permanecieron hasta 1795, cuando se establecieron definitivamente en lo que hoy es Villahermosa.

Hasta el último cuarto del siglo XIX, Villahermosa fue el principal puerto de Tabasco, a pesar de encontrarse a más de 100 kilómetros de la desembocadura del río. De 1885 a 1888, un cambio en el curso del Mezcalapa disminuyó considerablemente el caudal que fluía hacia El Grijalva y, en 1902, la erupción del volcán Santa María (en Guatemala) provocó azolvamientos por depósito de las materias expulsadas en el lecho del río. Frontera fue sustituyendo a Villahermosa como puerto de Tabasco, hasta que sobrevino, alrededor de 1940, el desplome del comercio bananero.

Villahermosa es ahora una ciudad moderna y la más poblada de todas las ciudades tabasqueñas. El progreso y la modernidad llegaron con la explotación del petróleo.

Debido al clima de la ciudad un gran número de viviendas tienen techos altos y en declive. La mayoría de las construcciones de antaño tenía techo de dos aguas.



El patrón de las calles en el sector centro, es el típico diseño romano-español donde hay pocos espacios abiertos y en donde se hace un uso intenso de las calles. La traza, aunque tiende a manzanas rectangulares, es generalmente irregular. A excepción, el extremo oriente del sector, donde predomina el espacio abierto público en todo el sector, el elemento temático son las calles y las manzanas.

Por su ubicación en el centro de la ciudad el uso del suelo es mixto, con una combinación de comercio y vivienda. Predominan los edificios de un solo nivel aunque los niveles se incrementan cuando los edificios dan hacia avenidas principales.

El uso de oficinas también es común en este sector. No existe ningún aprovechamiento del río como elemento importante del espacio urbano, y se enfatiza este desinterés con una avenida de camellón y cuatro carriles que lo separan de las edificaciones.

El ancho de las calles permite sombras sobre las banquetas en diferentes horas del día. La vegetación en calles es escasa a excepción de árboles que se ubican en algunas avenidas, y en las dos calles peatonales, que se han adoptado en años recientes, la selección larga de las manzanas tiende a coincidir con el eje oriente-poniente lo cual es recomendable en climas tropicales húmedos.³

Madero es la avenida principal del centro de la ciudad antigua: conserva algunas viejas casas de un solo piso, con techo de teja, ventanas con herrería y patio central. Viviendas semejantes pueden encontrarse en algunas otras calles del centro de Villahermosa y, sobre todo, en Sáenz donde casi todas las casas conservan su viejo

³ANDRADE, N.J., 1992, Tabasco, Tipología de vivienda, U.A.M.-X, México. (60)

sello. La ciudad en el siglo XIX y principios del XX se dividía en barrios: La Punta o Concepción, Esquipulas y Santa Cruz. A fines del siglo pasado, Atasta y Tamulté eran poblados cercanos a Villahermosa, donde algunas familias pasaban temporadas: ahora están incorporados a la ciudad.

La ciudad deportiva fue una de las primeras muestras de la modernización de Villahermosa. Ahora el proyecto de un gran centro urbano - Tabasco 2000 - incluye el gran Palacio Municipal, Un Planetarium, un Centro de convenciones, grandes centros comerciales y hoteles, así como viviendas a gran escala (donde no se contemplan los aspectos climáticos en su diseño). Es la muestra más evidente de la impronta modernización que caracteriza al Tabasco de hoy.

La Casa de la Cultura ocupa la vieja sede del Instituto Juárez, fundado en 1879. En 1958, el Instituto se convirtió en Universidad Autónoma y actualmente cuenta ya con una ciudad Universitaria.

En la calle 27 de febrero, ya lejos del centro, se encuentra la Catedral, edificio inacabado de construcción reciente.

La ciudad cuenta además con espacios dedicados a la cultura y recreación como teatro, cines, parques de diversiones, museos, bibliotecas, etc. y su estructura de comunicaciones es moderna y eficaz, contando con autopistas y aeropuerto.

La población de Villahermosa sobrepasa hoy los 300,000 habitantes, producto de la afluencia de una corriente migratoria procedente de diversos estados y comunidades al iniciarse en Tabasco la explotación del petróleo. Esa afluencia de mano de obra no crearía tantos problemas si el sistema productivo fuera capaz de absorberla. Pero no es así y existen el subempleo, la inflación y los problemas de dotación de servicios.⁴

⁴GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO, Comisión para el desarrollo urbano de Tabasco, 1987, El desarrollo Urbano y Villahermosa, Ed. Game, S. A. de C. V., México.

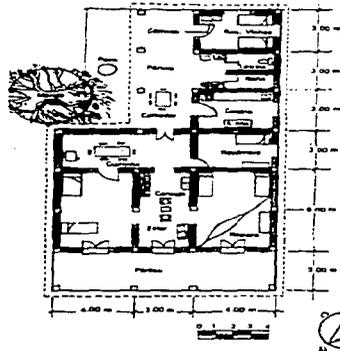
4.4. LA VIVIENDA VERNÁCULA DE LA ZONA.

Compartiendo, en términos generales, las soluciones constructivas y funcionales de la arquitectura del trópico húmedo, las casas tabasqueñas se pueden clasificar de acuerdo con su origen y de acuerdo con su medio.

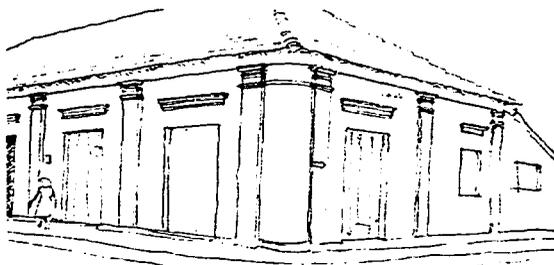
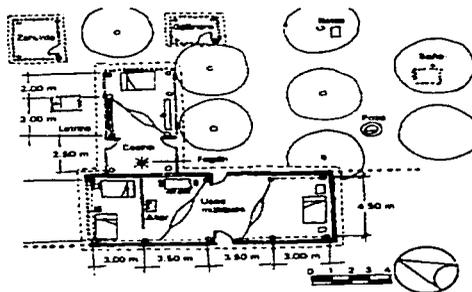
Carrillo Salazar y González Lobo proponen la división de tres grupos de gente para la vivienda rural de Tabasco. 1. La indígena, 2. La criolla y 3. La mestiza. El primer grupo lo dividen en vivienda agrícola y pesquera. El segundo en vivienda de dos crujías hacia el frente, tres crujías o ejes hacia el frente. El tercer grupo, la vivienda mestiza, lo dividen en tres categorías: a) Medio pórtico en fachada, b) vivienda indígena construida con materiales de la vivienda criolla, c) vivienda criolla con crecimientos propios de la vivienda indígena.

Independientemente de esta propuesta tipológica, se pueden resaltar los rasgos característicos, en dos grandes categorías: la primera constituye la vivienda indígena - Chontal en este caso preciso - cuya matriz es preponderantemente prehispánica. La segunda, integraría la vivienda criolla y mestiza, ya que los matices y variantes van de un extremo al otro sin poder determinar tajantemente cuáles son los límites entre cada grupo. No sólo se encuentran dificultades en marcar estas diferencias, sino también entre la vivienda rural y urbana, sobre todo en el caso particular de Tabasco, donde los lenguajes constructivos urbanos han irrumpido en medios de naturaleza eminentemente rurales.

Planta arquitectónica de vivienda con pórtico hacia el frente, este ejemplo correspondería a la vivienda criolla, que se identifica primordialmente con las fincas cacaoteras y copreras.



La vivienda sin pórtico, generalmente se ubica en las zonas urbanas centrales y son aquellas que a menudo se adornan con pretiles calados.



Vivienda de la zona oriental del estado (Balancán o Tenosique)

4.5. LA VIVIENDA VERNÁCULA DE LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA



Centro de la Cd. de Villahermosa, Tab.

Para el análisis de la vivienda vernácula, se escogió la zona céntrica de la ciudad. El sector estudiado se delimita gráficamente con un círculo en el plano. La selección de este sector corresponde a la búsqueda de una zona antigua donde predominan edificios tradicionales.



Viviendas vernáculas del centro de la ciudad.

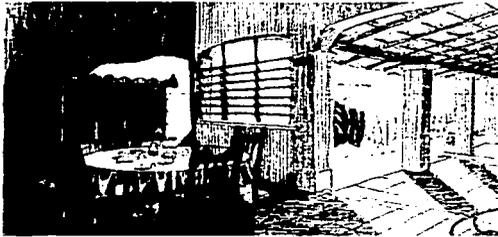
La vivienda vernácula por lo general presenta un esquema de organización espacial en forma de "L", el lado más corto de este coincide con el frente del terreno y se compone de una doble hilera de cuartos.

La cubierta de la doble hilera de cuartos del frente es un techo de dos aguas. La cubierta de la hilera de cuartos del fondo es de una sola agua y se prolonga cubriendo un corredor. En la fachada predominan los macizos sobre los vanos y ésta se remata con una cornisa que oculta la cubierta.

Al frente y a un lado, la edificación coincide con los límites del terreno, existe un solo acceso a través de la sala. En el lado largo de la "L" se ubica la zona de dormir, los baños y la cocina. En el lado corto se ubican la sala y el comedor. En la hilera de cuartos que da hacia el corredor éstos se comunican indirectamente a través del pórtico. El comedor se abre hacia el patio por medio de una ventana y del corredor.

La altura de las cubiertas contribuye al confort interior. La alineación de los vanos interiores y exteriores en la doble franja de cuartos del frente contribuye a la circulación del aire. La abertura del comedor hacia el corredor, genera una zona cubierta y ventilada para comer y descansar.

El uso del corredor y la forma de los vanos controla durante el día la iluminación interior.

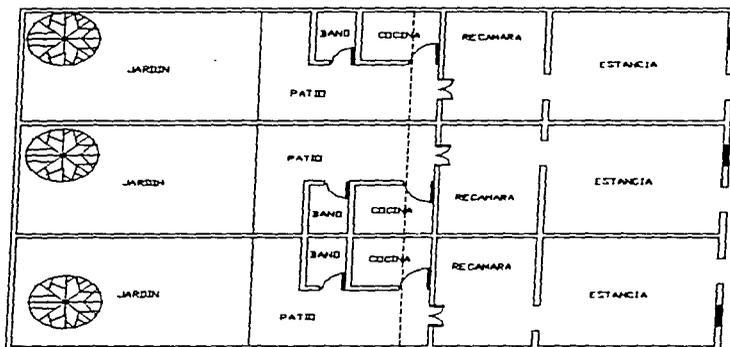


Algunas características constructivas son las siguientes: cimentaciones de ladrillo asentado con mortero, muros de ladrillo de barro recocido con aplanado de cal-arena y pintura de cal, techos de teja de barro criolla con estructura de madera. Todos los materiales de la vivienda son de origen regional y las técnicas de producción y de construcción son de tipo artesanal y/o manufacturero.

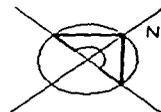


Actualmente las viviendas que se construyen no respetan los criterios de diseño observados en las viviendas vernáculas, y los sistemas constructivos también han sido modificados. Esto, ha traído consecuencias palpables para los usuarios, ya que muchas de estas edificaciones no responden a los factores climáticos de la región, por lo cual aunque la distribución espacial sea funcional no proporciona el adecuado confort a los habitantes.

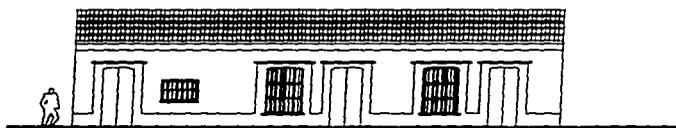
Por tal razón para el presente trabajo se propuso retomar un modelo de vivienda vernácula, a la cual se le realizaron cambios en cuanto al sistema constructivo se refiere, respetándose la distribución espacial, lo cual dió lugar a una estrategia de diseño que busca adaptarse aún más al clima local, sin olvidar los avances técnicos en los sistemas constructivos.



PLANTA



CORTE



FACHADA



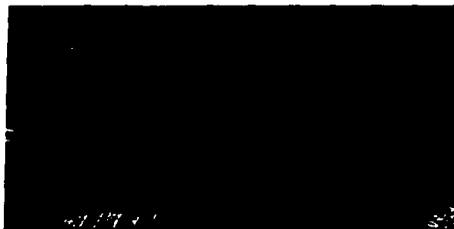
VIVIENDA VERNACULA
VILLAHERMOSA, TAB.

Plano de una vivienda vernacula del centro de la ciudad.

4.6. LA VIVIENDA ACTUAL DE LA ZONA.

La vivienda que se ha estado edificando actualmente difiere enormemente de la vivienda tradicional, desde el aspecto espacial hasta el aspecto constructivo. Actualmente los diseños de vivienda responden a los utilizados y diseñados en lugares de clima templado como la ciudad de México. Conformados por dos recámaras, sala, comedor, cocina, baño y un pequeño patio de servicio, los cuales se puede decir que responden a la funcionalidad de espacios, pero no están acordes al clima ni costumbres del lugar.

En el sistema constructivo se percibe de forma inmediata la diferencia, las viviendas actuales cuentan con cimentaciones de concreto armado, muros de block macizo o hueco, techos horizontales y en pocas ocasiones inclinados de concreto armado de 10 cm. de espesor, ventanas de tipo metálico de perfiles de hierro tubular o aluminio, pisos de mosaicos, aplanados y pinturas vinílicas o de aceite.¹



Conjunto habitacional Nueva Imagen



¹ GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO, Comisión para el desarrollo urbano de Tabasco, 1987, *El desarrollo Urbano y Villahermosa*, Ed. Game, S. A. de C. V., México.



Fraccionamiento Claustro los mangos

V. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN

Para analizar su comportamiento térmico, la vivienda se toma como un sistema termodinámico. Definiendo que el comportamiento térmico de un edificio está en función del proceso de intercambio de calor entre el edificio y el medio ambiente, así como de la energía empleada dentro del edificio mismo.¹

En el interior de la vivienda existe un volumen de aire del cual nos interesa conocer las condiciones de temperatura y humedad, pues de éstas depende el grado de comodidad para los usuarios de la vivienda.

La carga térmica se puede calcular con algunas aproximaciones. La más apropiada para el diseño con climatización natural, es tomando en cuenta la variación de las variables climáticas a lo largo del día. Para obtener un buen cálculo, habrán de obtenerse los datos de clima del sitio donde se edificará, a mayor tiempo de existencia en los datos de clima es posible tener un manejo estadístico más confiable.²

El flujo de calor se debe a la diferencia de temperaturas entre el interior y exterior, el cual puede darse a través de la envolvente, como por los elementos sólidos: muros y techos, los elementos translúcidos: ventanas y cortinas, y la infiltración de aire a través de hendiduras, huecos y ventilas; por conducción, convección y radiación.

Para nuestro cálculo se deben tomar en cuenta además de las aportaciones de calor del medio ambiente, las generadas en el interior de la vivienda por las personas que la habitan, los aparatos eléctricos y la iluminación artificial.

Las cargas térmicas se pueden clasificar en sensible o latente. Será sensible cuando provenga de una ganancia de calor directa por cualquier mecanismo de transmisión de calor (conducción, convección y radiación) y que se traduzca en un incremento en la temperatura del aire en el interior. Será latente cuando exista adición de humedad al sistema (vapor generado por los ocupantes, aparatos eléctricos), y los dispositivos de climatización natural o los equipos de aire acondicionado mantengan la humedad específica constante en el sistema.³

Para la evaluación de las viviendas se empleará la metodología reportada por Sámano et al. (1996), que se explica a continuación:

¹SÁMANO, D., Vázquez, B., Morales, D., Carga térmica en un edificio con almacenamiento térmico, Notas del Curso de Actualización en Energía Solar, UNAM, 1996. (264-279).

² IBIDEM.

³ IBIDEM.

TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN.

La ganancia de calor por conducción a través de la envolvente del edificio bajo estudio, se calcula con la ecuación que resulta de la solución de la ecuación de conducción sin almacenamiento de calor, que es igual a la obtenida en estado permanente ($d^2T/dx^2 = 0$). Para el caso de flujo de calor a través de paredes, el techo y piso, la solución es:

$$Q_{\text{cond}} = UA (T_e - T_i)$$

donde Q_{cond} es la ganancia de calor por conducción, determinada por la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior ($T_e - T_i$) en función del tiempo, el área A del material y el coeficiente global de transferencia de calor U expresado de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{en}{kn} + \frac{1}{hc} + \frac{en}{kn} + \frac{1}{hi}}$$

el cual involucra la conductividad del material (kn), el espesor de este (en) y los coeficientes de pérdidas por convección del aire tanto en el interior (hi) como en el exterior (he), así como para cuando existan camadas de aire dentro del material (hc).

Las formas particulares de la ecuación se detallan a continuación:

QCOND = a través de muros

QCOND = $U A (T_e - T_i)$

QCOND T = a través del techo

QCOND T = $U_t A_t (T_e - T_i)$

QCOND V = a través de la ventana

QCOND V = $U_v A_v (T_e - T_i)$

GANANCIA DE CALOR POR RADIACIÓN SOLAR.

La ganancia de calor solar, es la cantidad que pasa a través de la ventana y que proviene de la radiación solar directa, parte de ella eleva la temperatura del aire interior, y es sumada inmediatamente a la carga instantánea, el resto se almacena en muebles, alfombrado, etc., sobre los cuales incide, y posteriormente contribuye a elevar la temperatura del aire interior, y se calcula de la siguiente manera:

$$QSHG = A_v H_t F_c$$

donde A_v es el área de ventana o material translúcido H_t es la radiación solar incidente sobre una superficie horizontal, F_c es la fracción de radiación solar que pasa por la ventana al espacio acondicionado, multiplicado por la transmitancia del vidrio (0.20 a 0.25 para ventana sombreada). Por ejemplo para un tragaluz con radiación perpendicular y cubierta de vidrio se usará con transmitancia de 0.85.

GANANCIA DE CALOR POR VENTILACIÓN NATURAL.

La cantidad de aire que manejan los ventiladores y que entra al espacio acondicionado, incorpora al aire interior una cantidad de calor, esta puede ser dividida en sensible y latente y se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{\text{vent}s} = \text{Ganancia de calor sensible debida al aire exterior}$$

$$Q_{\text{vent}s} = 0.278 \cdot G \cdot \rho \cdot C_{pa} \cdot (T_e - T_i)$$

donde G es el flujo de aire que proviene del exterior (m^3/min), ρ es la densidad del aire que es igual a $1.180 \text{ Kg}/m^3$, C_{pa} es el calor específico del aire $1.0065 \text{ KJ}/\text{kg } ^\circ\text{C}$, T_e es la temperatura del aire exterior $^\circ\text{C}$ y T_i es la temperatura del aire interior $^\circ\text{C}$.

$$Q_{\text{vent}l} = \text{Ganancia de calor latente debida al aire exterior}$$

$$Q_{\text{vent}l} = 0.278 \cdot G \cdot \rho \cdot (W_e - W_i) \cdot H_{vap}$$

donde W_o es la humedad específica del aire exterior (kg de agua/ Kg de aire), W_i la humedad específica del aire interior y H_{vap} el calor latente de vaporización (KJ/Kg).

GANANCIA DE CALOR POR INFILTRACIÓN DE AIRE EXTERIOR.

La cantidad de aire que entra al espacio acondicionado por infiltración a través de grietas, ranuras en puertas y ventanas o hendiduras en la estructura del edificio, incorpora una cantidad de calor que también se divide en sensible y latente, se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{\text{int}s} = 0.278 \text{ CAMB} \cdot Vol \cdot \rho \cdot C_{pa} \cdot (T_e - T_i)$$

$$Q_{infil} = 0.278 \text{ CAMB} \cdot Vol \cdot \rho \cdot (W_a - W_i) \cdot H_{vap}$$

donde CAMB es el número de cambios de aire por hora debidos a infiltración, Vol es el volumen del cuarto, Cpa el calor específico del aire, ρ la densidad del aire, H_{vap} el calor latente de vaporización 2468 KJ/kg, T_e temperatura ambiente y T_i temperatura del interior, W_a la humedad específica del aire ambiente y W_i la humedad específica del aire en el cuarto.

GANANCIA DE CALOR POR OCUPANTES.

El calor del cuerpo humano desprendido al medio que le rodea puede ser dividido en dos partes. La primera, el calor latente, es debido a la humedad que como consecuencia de la respiración y el efecto de la transpiración de la piel, el cuerpo humano incorpora al ambiente. La segunda, es el calor que el aire, en contacto con la piel, toma de este, sumando al calor radiante que emite la piel al medio circundante (radiación infrarroja).

La cantidad de calor que el cuerpo desprende depende de diversos factores como: el peso, la edad, el estado nervioso, la actividad desarrollada en el transcurso del día, etc.. Esta ha sido medida y tabulada, lo cual simplifica los cálculos para este efecto.

Para efectuar los cálculos presentes se utilizaron las ecuaciones y las tablas presentadas en el manual ASHRAE.

$$Q_{Gents} = \frac{q_{sens}}{persona} \cdot Na \text{ personas}$$

$$Q_{Genti} = \frac{q_{lat}}{persona} \cdot Na \text{ personas}$$

GANANCIA DE CALOR POR ILUMINACIÓN Y EQUIPO ELÉCTRICO.

La ganancia de calor debida a equipo eléctrico se suma completa a la carga total. Esta carga proviene de proyectores, iluminación, y aparatos eléctricos en general.

$$Q_{elect} = Q(\text{potencia del equipo}) \cdot Na \text{ de aparatos}$$

TEMPERATURA SOL-AIRE.

Para considerar el efecto de la radiación solar (la reflejada por los pavimentos exteriores y la atmósfera) que incide sobre las superficies exteriores, se utiliza el método para calcular la temperatura sol-aire propuesto por ASHRAE, donde se considera la temperatura ambiente más el efecto de las radiaciones mencionadas, que al incidir sobre la superficie de la envolvente de la vivienda, se transforma en calor que se transmite al interior por conducción:

$$T_{sol - aire} = T_e + \frac{\alpha H_i}{h_o} + \frac{\epsilon D_R}{h_o}$$

donde T_e corresponde a la temperatura ambiente, H_i es la radiación solar incidente sobre la superficie horizontal, h_o el coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación, ϵ la emitancia de la superficie y α la absortancia de la superficie.

D_R es " la diferencia entre la radiación de onda larga incidente sobre la superficie que proviene del cielo y medio ambiente, y la radiación emitida por un cuerpo negro a la temperatura del aire exterior." ASHRAE sugiere usar $D_R = 0$ para superficies verticales. Para techo plano, o con una inclinación dada SLP, D_R se calcula por:

$$D_R = \sigma \cdot \left[\frac{(1 + \cos SLP)}{2} \cdot (T_{sky}^4 - T_{amb}^4) + \frac{(1 - \cos SLP)}{2} \cdot (T_{surr}^4 - T_{amb}^4) \right]$$

donde T_{sky} y T_{surr} son las temperaturas del cielo y los alrededores y son obtenidas de

$$T_{sky} = 0.0552 \cdot T_{amb}^{1.5}$$

$$T_{surr} = T_{amb} + 10 \text{ (}^\circ K\text{)}$$

hw es el coeficiente de convección exterior y se calcula como una función de la velocidad del viento:

$$hw = 32.7 + 13.7 \cdot w \text{ (KJ/hr m}^2 \cdot \text{C)}$$

$$hw = hw / 3.6 \text{ (watts/hr m}^2 \cdot \text{C)}$$

La radiación infrarroja se calcula por un coeficiente de transferencia de calor por radiación, hir :

$$h_{ir} = 4 \sigma \varepsilon w T^3$$

donde

$$T = (T_{amb} + T_{pared})$$

σ = constante de Stefan-Boltzman (5.669E-08 watts/hr m² * K⁴) ó
(2.041E-07 KJ/hr m² * K⁴)

ε = emitancia infrarroja de superficie

para simplificar cálculos a T = 20 °C $h_{ir} \approx 5.6$ watts/hr m² °C (68 °F) (1.0 Btu/hr ft² °F)
El coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación es:

$$h_o = h_w + h_{ir} \text{ (watts/hr m}^2 \text{ °C)}$$

entonces las ecuaciones anteriores quedarán en función de la T_{sol}-aire como sigue:

$$Q_{COND} = U * A * (T_{sol\text{-}aire} - T_i) \text{ (watts)}$$

$$Q_{CONDT} = U_t * A_t * (T_{sol\text{-}aire} - T_i) \text{ (watts)}$$

$$Q_{CONDV} = U_v * A_v * (T_{sol\text{-}aire} - T_i) \text{ (watts)}$$

$$Q_{SHG} = A_v * F_c * H_t \text{ (watts)}$$

$$Q_{VENTS} = G * 1.08 * (T_{sol\text{-}aire} - T_i) * 0.2931 \text{ (watts)}$$

$$Q_{VENTL} = G * 0.68 * (T_{sol\text{-}aire} - T_i) * 0.2931 \text{ (watts)}$$

$$Q_{INFLS} = C_{AMB} * 2971 * Vol * (T_{sol\text{-}aire} - T_i) \text{ (watts)}$$

$$Q_{INFLL} = C_{AMB} * 1.2185 * Vol * (W_o - W_i) \text{ (watts)}$$

TEMPERATURA INTERIOR DEL CUARTO.

Finalmente para conocer la temperatura que tenemos en el interior de la vivienda, se considera a la ganancia total de calor (Q total), que es la sumatoria de todas las ganancias anteriores, y la capacitancia (CAPAC) de la estructura que es masa por calor específico, lo cual determinará la diferencia entre la oscilación de las temperaturas interiores y exteriores, mediante la siguiente ecuación:

$$T_{\text{cuarto}} (i) = T_{\text{cuarto}} (i-1) + \int_{i-1}^i \frac{Q_{\text{TOTAL}}}{\text{CAPAC}} dt$$

En el presente trabajo se analizaron tres tipos de vivienda con la metodología descrita, una vivienda típicamente vernácula, una vivienda actual, y una vivienda propuesta.

VI. RESULTADOS

Para el análisis térmico se seleccionaron tres días del año cuyas características de temperatura ambiente, humedad relativa y radiación solar, marcaban las condiciones críticas del año. Los días escogidos fueron:

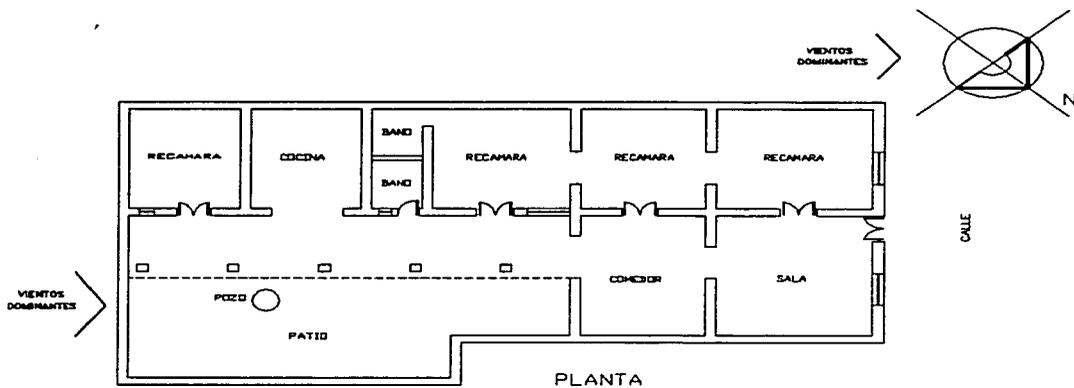
- 21 de enero día más frío del año y humedad relativa elevada.
 4 de abril día con la mayor temperatura del año.
 30 de agosto día cálido con la mayor humedad del año.

6.1. SIMULACIÓN TÉRMICA DE LA VIVIENDA VERNÁCULA

La vivienda vernácula tomada para realizar el cálculo térmico es característica de las viviendas que formaban parte de la antigua ciudad de Villahermosa (Figura 1), conocida en la actualidad como el centro de la ciudad, y la cual presenta las siguientes características en sus materiales¹:

CONCEPTO	PESO ESP. Kg/m3	VOLUMEN M3	MASA Kg	CALOR ESP. Kj/Kg °C
Muros de tab. rojo 30 cm, esp	1800	24.67	44,415	0.84
Aplanado de mortero	1860	1.64	3059.7	0.89
Pintura	1009	0.0109	99.4	0.9
Teja de barro	1200	1.1	1320	0.837
Falso plafond	70	0.825	57.75	1.05
Cama de aire	1.2	13.75	16.5	0.992
Estructura de madera	1100	0.608	668.8	2.7

¹Datos tomados de la tesina "Obtención de propiedades ópticas térmicas y físicas de algunos materiales de construcción", Rojas Mendoza, J. A., Especialización en Heliodiseño, UACPYP, CCH, UNAM, Marzo, 1992.



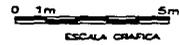
Planta de la vivienda vernacula analizada



CORTE



FACHADA

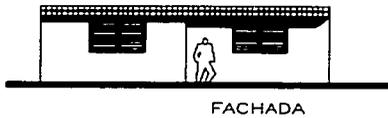
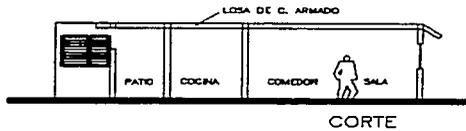
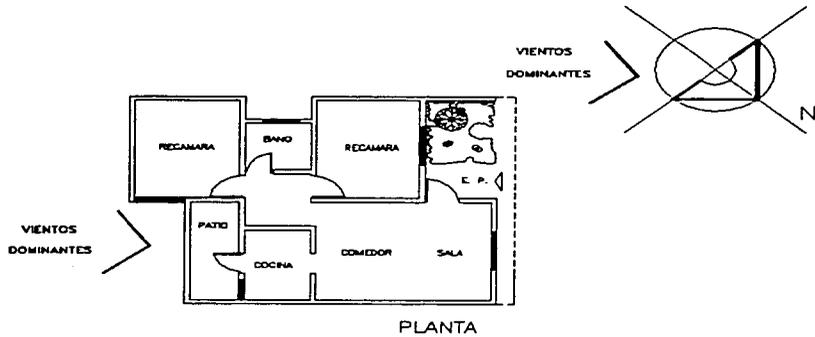
VIVIENDA VERNACULA
VILLAHERMOSA, TAB.

6.2. SIMULACIÓN TÉRMICA DE LA VIVIENDA ACTUAL.

La vivienda actual que se analizó corresponde a una vivienda de interés social (Figura 2), que cuenta con dos recámaras, sala-comedor, cocina, baño y un patio de servicio. Construida a base de block macizo, cimentación de concreto armado, y losa plana de concreto armado, con una altura de piso a techo de 2.40 m.

Los materiales de construcción presentan las siguientes características:

CONCEPTO	PESO ESP. Kg/M3	VOLUMEN M3	MASA Kg	CALOR ESP. Kj/Kg °C
Muro de block	1800	3.816	6868.8	0.84
Castillos y cadenas de conc. arm.	2300	0.5422	1247.06	0.85
Aplanado de Mortero	1860	0.954	1774.44	0.89
Pintura	1009	0.636	641.72	0.9
Losa de conc. arm. de 10 cm	2400	1.2	2880	0.85
Entortado	2000	0.6	1200	0.89
Enladrillado	900	0.24	216	0.795
Impermeabilizante	2110	0.012	25.32	0.9
Aplanado	2000	0.18	360	0.89
Pintura ext.	600	0.012	7.2	0.9



Plano de la vivienda actual analizada.

6.3. SIMULACIÓN TÉRMICA DE LA PROPUESTA DE DISEÑO.

Se retomó la vivienda vernácula analizada, respetando la distribución espacial y realizándose cambios en el sistema constructivo (Figura 3).

La corriente de aire en zonas de estar debe beneficiar a sus ocupantes si están de pie o sentados, por lo cual se proponen ventanas con ventilas que controlen la circulación del aire y con una dimensión adecuada.

En el techo se sigue proponiendo inclinado a dos aguas con un sistema constructivo de forma reticular combinando bloques de poliuretano con nervaduras de concreto armado con un peralte de 0.20 m recubiertos en el exterior con tejas de barro fabricadas en la zona. En el interior se deja una cámara de aire de unos 0.50 m, en la parte más alta, entre la losa y un falso plafond con estructura de aluminio y láminas de poliuretano.

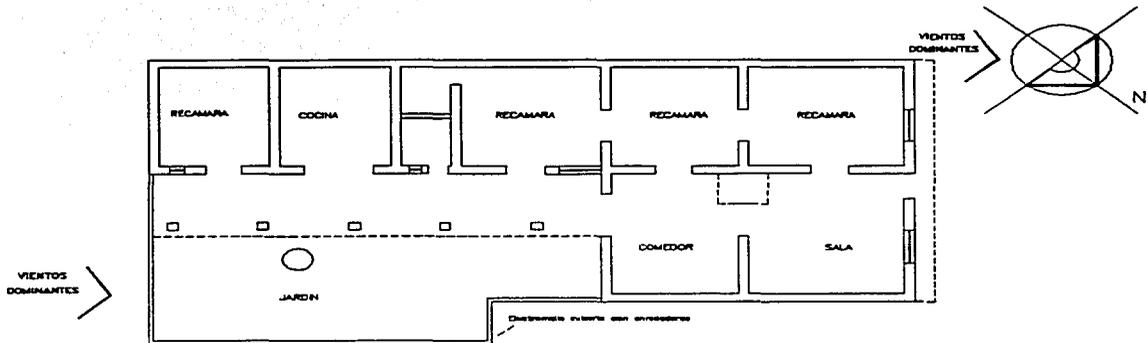
Los muros macizos se sustituyen por muros a base de tabique hueco, los cuales tienen un pequeño orificio en la parte inferior de tal forma que existe una pequeña cámara de aire que aísla parte del calor.

Los muros interiores estarán combinados con muros de block hueco hasta una altura de 2.0 m y 1.0 m de celosías en la parte alta, que permita la circulación del aire caliente hacia una abertura en el techo que proporcionará su salida al exterior.

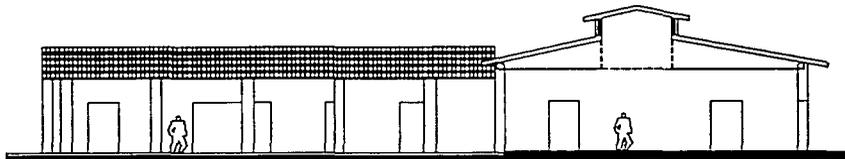
En la fachada se deja un volado que proporciona cierta protección contra el sol y la precipitación pluvial que en la zona es abundante.

Los materiales presentan las siguientes características:

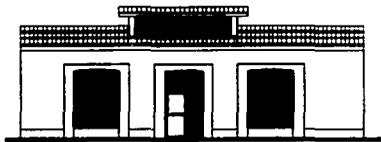
CONCEPTO	PESO ESP. Kg/M3	VOLUMEN M3	MASA Kg	CALOR ESP. Kj/Kg °C
Muros de tabique hueco	1800	24.675	44415	0.84
Losa de c.a. s/bloques	2400	1.2	2880	0.85
Bloques de poliuretano	70	2.16	151.2	1.05
Aplanado de mortero	1860	1.645	3059.7	0.89



PLANTA



CORTE



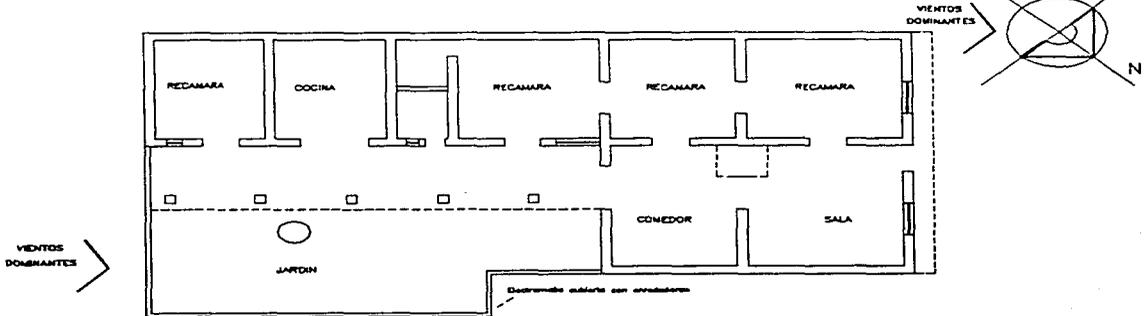
FACHADA



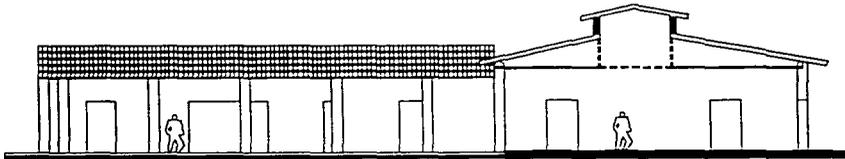
VIVIENDA PROPUESTA
VILLAHERMOSA, TAB.

Vivienda propuesta analizada.

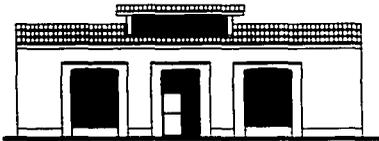
Pintura	1009	0.0822	82.99	0.9
Teja de barro	1200	1.1	1320	0.837
Falso plafond	70	0.825	57.75	1.05
Cama de aire	1.2	13.75	16.5	0.992
Pintura	600	0.0275	16.5	0.9



PLANTA



CORTE

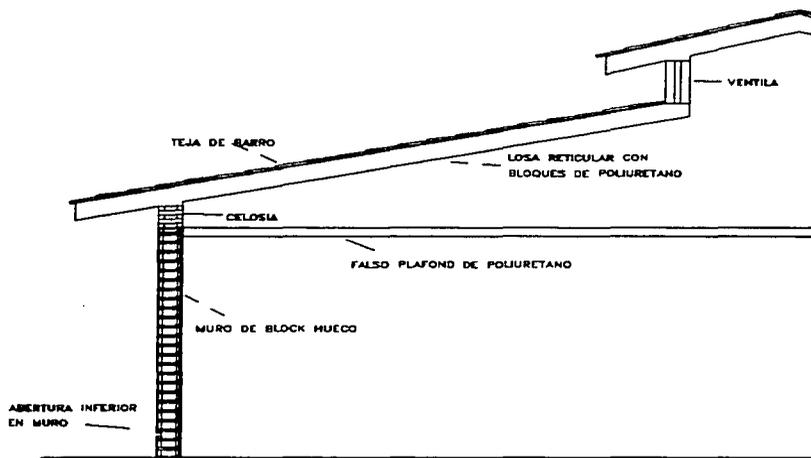


FACHADA



VIVIENDA PROPUESTA
VILLAHERMOSA, TAB.

Vivienda propuesta analizada.

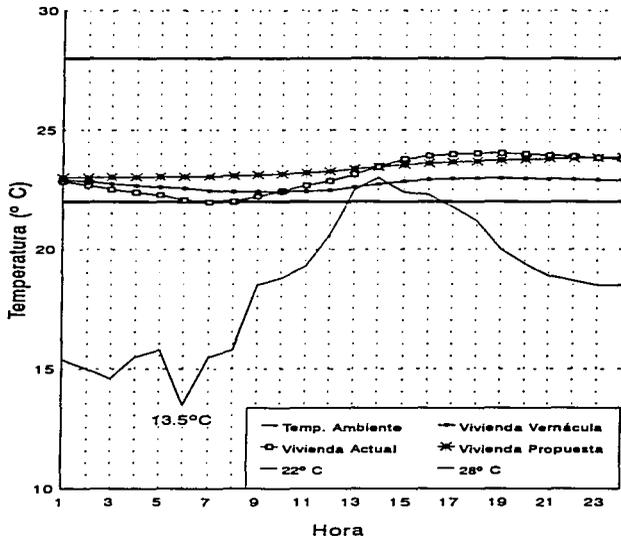


Detalle constructivo de la vivienda propuesta

6.4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Los resultados de la simulación se muestran en las gráficas 1, 2 y 3, donde se comparan las curvas resultantes de las tres viviendas versus la curva de la temperatura ambiente.

Para la fecha de mayor frío, 21 de enero (Gráfica 1), las condiciones en el interior de las viviendas fluctúan dentro de los rangos de comodidad (22-28° C), sin embargo se puede apreciar que los rangos de variación en las curvas resultantes son diferentes.



Gráfica 1. Cálculo térmico para el 21 de enero

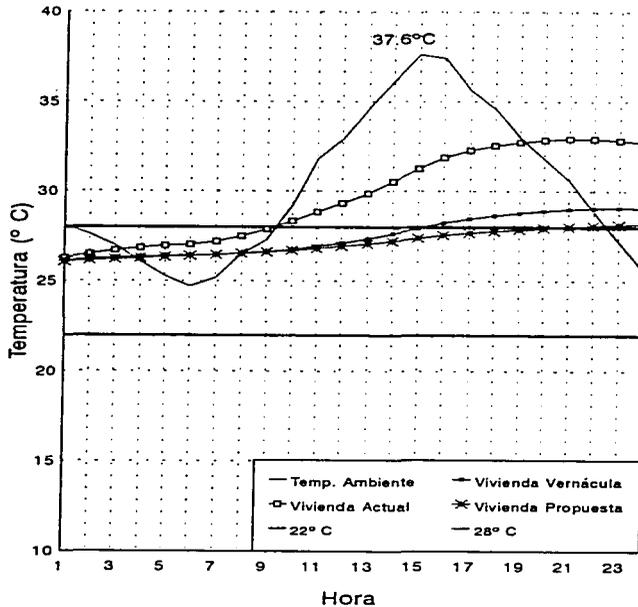
La vivienda propuesta, al iniciar con una temperatura de 23° C, finaliza con 23.88° C, alcanzando un incremento menor a 1° C en el transcurso de 24 horas, a pesar de la variación en la temperatura ambiente.

La vivienda vernácula responde también de una forma satisfactoria, inicia en 23° C, disminuye a 22.42° C alrededor de las 9 - 10 horas, aumenta a 22.9° C al caer la tarde y finalmente disminuye a 22.9° C al completarse las 24 horas, manteniéndose dentro de un rango de comodidad muy aceptable.

De otra parte, la temperatura en la vivienda actual fluctúa de manera significativa conforme varía la temperatura ambiente. Inicia de igual forma con 23° C y disminuye a 21.98° C alrededor de las 7 horas, un poco después de presentarse la temperatura ambiente mínima, alrededor de las 18 horas aumenta a 24.03° C y vuelve a disminuir a 23.78° C al finalizar las 24 horas. Esta variación se debe principalmente a que el coeficiente U en el techo de la vivienda actual es mayor que en las otras dos viviendas, lo que sumado a las características de inercia térmica de los materiales empleados en su construcción da como resultado una respuesta más rápida a los cambios de temperatura exterior y por consiguiente a una mayor ganancia o pérdida de calor.

En estos resultados se puede apreciar que tanto la vivienda vernácula como la vivienda propuesta responden satisfactoriamente a las variaciones de la temperatura ambiente conservando mejor el rango de comodidad dentro de la vivienda.

En la Gráfica 2, correspondiente al 4 de abril, se muestra que existe un gran incremento en la temperatura ambiente y que sólo dentro de las primeras horas del día se encuentra dentro del rango de comodidad. En dicha gráfica se puede apreciar la rápida respuesta de la vivienda actual a la variación de la temperatura ambiente, a diferencia de las otras dos viviendas, en las que se logra mantener la temperatura dentro del rango de comodidad durante la mayor parte del día.



Gráfica 2. Cálculo térmico para el 4 de abril

Se presenta una diferencia en tiempo para alcanzar los máximos de temperatura. La temperatura máxima en la vivienda actual se da mientras existe incidencia solar sobre la vivienda, en contraposición con la vivienda propuesta que su temperatura máxima se presenta a la medianoche cuando la temperatura ambiente empieza a bajar logrando mantener la comodidad durante todo el día.

La simulación se inicia con una temperatura interior de 26° C en las tres viviendas, temperatura que está dentro del rango de comodidad. El comportamiento de la temperatura se simula en un período de 24 horas.

La vivienda propuesta finaliza con una temperatura de 28.18° C; alcanzando un incremento de 2.10° C con respecto a la temperatura interior inicial, durante todo el día.

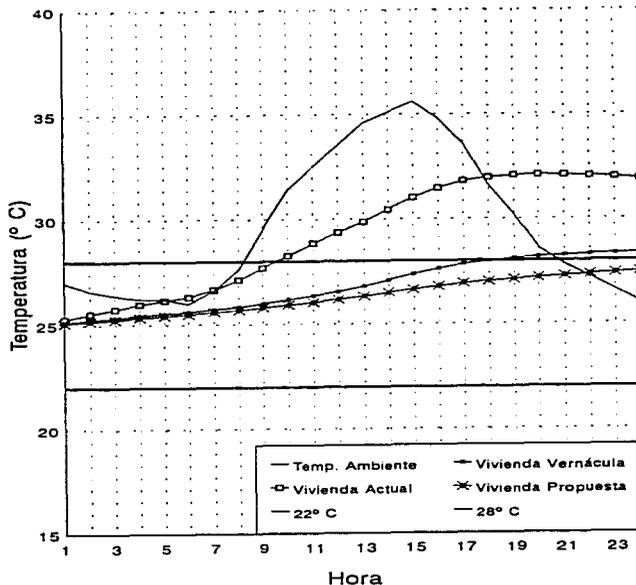
La vivienda vernácula alcanza una temperatura máxima de 29.07° C, presentando una diferencia de más 0.87° C con respecto a la vivienda propuesta.

La vivienda actual responde más desfavorablemente, alcanza una temperatura máxima de 32.93° C, un poco después de presentarse la temperatura ambiente máxima que es de 37.6° C, presentando un incremento de 6.66° C con respecto a la temperatura interior inicial, y una diferencia de más 4.56° C contra la temperatura máxima resultante de la vivienda propuesta.

Con esto se comprueba que en zonas cálido-húmedas, retomando la arquitectura vernácula y tomando en cuenta las características de los materiales y la climatización natural, se puede lograr durante la mayor parte del día en el interior de las viviendas temperaturas confortables para los usuarios.

El 30 de agosto presenta una temperatura ambiente y una humedad relativa alta (35.6 °C - 98% H.R.), y se observa en la Gráfica 3 la respuesta diferente entre las tres viviendas a estas condiciones climáticas.

La vivienda propuesta logra permanecer durante todo el día dentro del rango de comodidad, debido a que su coeficiente U es menor que el de las otras dos viviendas por la inercia térmica de los materiales propuestos. Inicia con una temperatura interior propuesta de 25°C, finalizando con una temperatura de 27.47° C a las 24 horas, con un incremento de 2.38° C entre las dos temperaturas.



Gráfica 3. Cálculo térmico para el 30 de agosto

La vivienda vernácula no alcanza mantenerse durante todo el día dentro del rango de comodidad, presenta una temperatura máxima de 28.35°C , una diferencia de más 3.23°C con respecto a su temperatura interior inicial, y más 1.05°C con respecto a la temperatura máxima de la vivienda propuesta.

La vivienda actual finaliza con una temperatura máxima de 32.09°C , muy por encima del rango de comodidad, y una diferencia de más 6.82°C con respecto a su temperatura interior inicial.

La vivienda actual muestra en las tres gráficas una oscilación mayor de temperatura en su interior, esto es consecuencia de su estrategia de diseño, ya que los materiales empleados son de una alta inercia térmica y la distribución espacial es demasiado pequeña, teniendo en cuenta que en el interior existe ganancia de calor por aparatos eléctricos y actividades realizadas por sus ocupantes más la adquirida por la envolvente, es de esperar esta respuesta a las variaciones en la temperatura ambiente. En cambio se observa que la vivienda vernácula y la vivienda propuesta debido a sus estrategias de diseño responden de una manera más adecuada a los factores climáticos de la región.



VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En el presente trabajo se presenta una revisión de diversos sistemas constructivos y estrategias de diseño empleados en crear espacios habitables congruentes con sus entorno físico, como los que se muestran provenientes de nuestra arquitectura vernácula. Se presenta también algunas metodologías empleadas como parte del diseño bioclimático y las cuales pueden ser adaptadas a necesidades particulares.

En este trabajo se estudia una región cálido-húmeda del cual se realizan tres cálculos térmicos en tres viviendas con estrategias de diseño diferentes. Se describe la metodología propuesta por Sámano, *et al.* 1996, utilizada para los cálculos térmicos. Para ello, se investigó y graficó la temperatura horaria durante todo un año, la humedad relativa, la velocidad y dirección de los vientos dominantes, necesarios para un análisis efectivo.

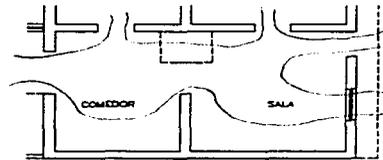
Los resultados de la simulación, se presentan en tres gráficas, correspondientes a tres fechas diferentes, donde se comparan entre sí las tres viviendas estudiadas.

De los resultados de este trabajo se pueden derivar las siguientes conclusiones:

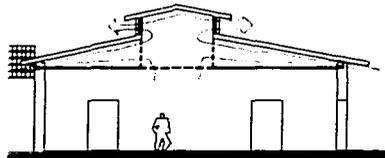
1. Cualquier espacio arquitectónico, debe ser diseñado tomando en cuenta los factores climáticos de la región en donde será construido.
2. La orientación y el dimensionamiento de los espacios son fundamentales para lograr una buena estrategia de diseño.
3. La vivienda vernácula fue construida respetando y adaptándose a las condiciones climáticas de la región, y responde a las necesidades de bienestar térmico del hombre.
4. La falta de estrategia de diseño en las viviendas actuales, afecta de manera significativa a los usuarios que la habitan.
5. Se puede retomar las estrategias empleadas en la vivienda vernácula y para futuras viviendas, adaptándole sistemas constructivos actuales.
6. El sistema empleado en la construcción de los techos y la ventilación adecuada son determinantes para una buena estrategia de diseño.

En base a los resultados y conclusiones del trabajo se presentan las siguientes recomendaciones:

En climas cálido-húmedos la ventilación juega un papel determinante, por lo cual se debe buscar que el paso del aire sea lo más libre posible. Para permitir el flujo del aire y contar con protección para el sol es posible utilizar celosías, rejillas, pantallas, cortinas plegables, etc.



Las cubiertas deben ser preferiblemente inclinadas para facilitar el desalojo de la lluvia, con volados que protejan de la radiación solar, deben ser construidos con materiales de baja inercia térmica y con cámara de aire ventilada.



Los muros deben ser ligeros, de baja inercia térmica, preferiblemente con cámara de aire, y debe buscarse que los orientados al poniente se encuentren protegidos del sol.

Las puertas deben tener aberturas que permitan una ventilación adecuada. Las ventanas deben contar con dispositivos o mecanismos operables que permitan el control del paso del viento. Puertas y ventanas deben contar con protecciones para los animales e insectos.

Se recomienda también realizar estudios analíticos de la metodología empleada en el presente trabajo, complementado con aplicaciones en viviendas para diferentes regiones del país, y así establecer recomendaciones específicas de diseño para cada una de ellas.

Finalmente los arquitectos y diseñadores, debemos recordar tomar en cuenta siempre todos los factores ambientales y el espacio abierto a la hora de diseñar los espacios arquitectónicos, y no ver el edificio de vivienda como un volumen aislado de su contexto inmediato. Hay que asumir con responsabilidad el compromiso moral de crear espacios saludables, confortables y habitables para el cuerpo, la mente y el espíritu del hombre, buscando siempre mejorar su calidad de vida y la de sus generaciones futuras.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

ANDRADE, N. J., Tabasco, tipología de vivienda, U. A. M.- X., México, 1992.

ASHRAE, Handbook Fundamentals, USA., 1981.

BUTTI, Ken, Perlín, John, Un hilo dorado 2500 años de arquitectura y tecnología solares, Trad. José Corral, Ed. Hermann Blume, Madrid, 1985.

GARCÍA, Ch., J.R., Viento y Arquitectura, Ed. Trillas, México, 1995.

GOBIERNO DEL ESTADO DE TABASCO, Comisión para el desarrollo urbano de Tabasco, El Desarrollo Urbano y Villahermosa, Ed. Game, S. A. de C. V., 1987.

GONZÁLEZ, E., Hinz, E., De Oteiza, P., Quiros, C., Proyecto, Clima y Arquitectura, Vol. 1, 2, 3, Ed. G. G., México, 1986.

KOENIGSBERGER, Ingersoll, Mayhew, Szokolay, Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales, Editorial Paraninfo S.A., Madrid, España, 1977.

KONIA, Allan, Diseño para climas cálidos, Traducción Rafael Fontes, H. Blume Ediciones, España, 1981.

LACOMBA, Ruth, Manual de Arquitectura Solar, Ed. Trillas, México, 1991.

LÓPEZ, F. J., Arquitectura vernácula mexicana, Ed. Trillas, México, 1992.

MAZRIA, E., El libro de la energía solar pasiva, Tecnología y Arquitectura. Construcción Alternativa, Gustavo Gili. México, 1983.

MORALES, Ramírez J.D., Climatización de Edificios en Clima Cálido, Tesis de Maestría en Arquitectura, UNAM, México, 1989.

MORALES, Ramírez J. D., Estudio de Techos de edificios construidos para operar en forma Pasiva, Tesis de Doctorado en Arquitectura/Tecnología, UNAM, México, 1993.

PRIETO, Valeria, Vivienda campesina en México, Ed. Beatrice Trueblood, México, 1994.

TUDELA, Fernando, Ecodiseño, U. A. M.-X, México, 1982.