

**DISPOSITIVO SOLAR EXPERIMENTAL DE
EXTRACCIÓN DE AIRE EN UN CLIMA CÁLIDO-
HÚMEDO.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ARQUITECTURA
PRESENTA:**

HAYDEE PÉREZ CASTRO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

UNAM

MMVII



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.



DISPOSITIVO SOLAR EXPERIMENTAL DE EXTRACCIÓN DE AIRE EN UN CLIMA CÁLIDO- HÚMEDO.

HAYDEE PÉREZ CASTRO



PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



UNAM

MMVII

Director de Tesis:

Dr. en Arq. José Diego Morales Ramírez

Sinodales:

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez

M. en Arq. Jeanine Da Costa Bischoff

M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos

Arq. Héctor Ferreiro León

A mi esposo y a mis hijos Aarón e Isaac.

Agradecimientos

Este trabajo no hubiera podido concretarse sin el apoyo de numerosas personas que me apoyaron durante su realización.

En este sentido quiero agradecer primeramente a mi esposo por su compañía y respaldo. A mis padres por su paciencia y cariño, a mis hermanos Hebe, Clefer y Rafael por animarme a continuar con este documento, a mi tía Lucinda, a Judith y Lupita por sus palabras de aliento.

Quiero hacer mención especial a los aportes del Dr. en Arq. José Diego Morales, que con su entusiasmo me ayudó a concluir esta investigación. Al M. Arq. Francisco Reyna Gómez por su apoyo y continua atención a mi trabajo.

INDICE

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL

EJEMPLO ANÁLOGO

2. SISTEMAS PASIVOS

GENERALIDADES

CLASIFICACIÓN Y TIPOS

3. EDIFICACIÓN

ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

4. DISEÑO Y EVALUACIÓN TEÓRICA DEL DISPOSITIVO

PROCESO DE DISEÑO

CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE MODELOS A ESCALA

RESULTADOS

5. CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO EN LA VIVIENDA

6. EVALUACIÓN FÍSICA DEL DISPOSITIVO

DISEÑO DEL PROCESO DE EVALUACIÓN

LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

EVALUACIÓN MATEMÁTICA DEL CAUDAL DEL AIRE

7. CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

Es indiscutible que en los actuales tiempos de reflexión hacia los problemas de incertidumbre, con respecto de los recursos energéticos, la arquitectura juega un papel importante debido a que: *"el 45% de la energía generada se utiliza para calentar, iluminar y ventilar edificios y el 5% para construirlos".*¹

Debido al creciente interés de la problemática energética a nivel mundial, en el campo de la arquitectura se ha retornado a incluir dentro del diseño de edificios el aprovechamiento al máximo de las características medioambientales proporcionadas por el lugar de sitio.

Las consideraciones de diseño arquitectónico antes señaladas ya las aplicaban nuestros ancestros; cuando el hombre de épocas remotas logró emplear su intelecto para hacer frente a los fenómenos climáticos, el refugio se tornó en su escudo más potente. *"A medida que evolucionaba el refugio se acumulaban experiencias que, con ingenio, se diversificaban para afrontar los retos de la gran variedad de climas."*²

Cada región presenta características específicas ambientales que muy rara vez se repiten, por lo que la tipología de los edificios debe responder con soluciones específicas y únicas, tal como lo establece Olgay: *"Los resultados han sido expresiones constructivas con un fuerte carácter regional."*³

Para poder aprovechar las características climáticas de una región es necesario el uso de técnicas pasivas, las cuales se encargan de aprovechar las fuentes de energía proporcionadas por los recursos naturales.

¹ Brian Edwards, *"Guía Básica de la Sostenibilidad"*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona 2004, p.11

² Víctor Olgay, *"Arquitectura y Clima"*, p. 3

³ *Ibíd.*, p.5

Como se observa esta situación lleva a inferir que parte de esta solución se halla en manos de los arquitectos, lo que conduce a optar por sistemas y tecnologías de no agresión ambiental y concebir mediante la investigación ideas arquitectónicas que contribuyan a mejorar los ambientes interiores sin un excesivo consumo de energía. Cumpliendo con este cometido la presente investigación aborda la propuesta de mejora de ventilación en una vivienda construida en el Estado de Tabasco, persiguiendo generar un espacio más cómodo térmicamente, contribuyendo además a la disminución del gasto energético.

La propuesta consistió en la concepción, construcción y evaluación de un dispositivo con la función de extraer aire caliente del interior a través del efecto convectivo, utilizando como base los fundamentos del muro solar en su modalidad para verano, todo esto a través de su aplicación en una vivienda con características de clima cálido-húmedo.

La investigación se elaboró con base en el método científico. Primeramente se llevó a cabo consultando bibliografía: se indagó acerca del funcionamiento de este sistema, las aplicaciones que tuvo, los factores climáticos que intervienen, el material, las causas y efectos que produce, el beneficio térmico que se pueda obtener en función de las corrientes de aire provocadas y los cálculos que atañen este sistema. A continuación, se hizo una recapitulación de lo investigado proponiendo, modificaciones al sistema para el clima cálido-húmedo y se elaboraron modelos a escala de él, para observar su funcionamiento físico evaluando los aciertos y discrepancias del mismo. La última parte de la investigación consistió en su aplicación a una vivienda de la población de Villa Ocuilzapotlán, Tabasco; implicando: materiales utilizados, fabricación, implementación, evaluación, y análisis.

De la investigación propuesta, se obtuvieron otros productos de beneficio para la investigación continua:

Propuestas metodológicas que sirvan de guía para nuevas investigaciones.

Bases de datos que sirvan de instrumento o referente a otras investigaciones.

• CAPÍTULO I •

ANTECEDENTES

La climatización pasiva consiste en la utilización de procedimientos constructivos (pasivos) para el control del ambiente interno, con ello se reduce el uso de los controles mecánicos (activos) y se aumenta la eficiencia energética de la edificación.

“El desarrollo sustentable de los recursos naturales, aplicado a la vivienda, implica la incorporación de nuevas exigencias a lo largo del proceso constructivo de la casa y un cambio en las técnicas y sistemas de construcción. Se requiere brindar la atención adecuada a la promoción y aplicación de prácticas concretas y reales para que dentro de la vivienda existan condiciones para el ahorro de la energía”.¹ “ En México existen cerca de 23 millones de viviendas”.²

En nuestro país, la cultura del ahorro de energía se inició hace más de una década, pero los beneficios aún no son palpables. La sociedad mexicana, requiere de nuevos diseños de viviendas que se adapten a sus necesidades y que además modifiquen las tecnologías actuales, altamente consumidoras de energía, sin afectar el valor adquisitivo de la vivienda. “Están en proceso de diseño regulaciones para la construcción de nuevos edificios, que también involucrarán medidas de eficiencia energética (Morillón, 2005)... una política adicional que podría tener éxito a largo plazo, sería garantizar que las nuevas construcciones de vivienda tuvieran un diseño que les permitiera un menor consumo de energía... El

¹ Guía CONAFOVI 2006, pág. 22

² Ibidem, pág. 27

diseño de una política de este tipo involucraría a las grandes constructoras de vivienda, a los productores de aparatos domésticos y a las compañías eléctricas”.³

1.1. CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECTOR RESIDENCIAL.

Según la guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda, de la Comisión Nacional de fomento a la Vivienda (CONAFOVI 2006). En el 2004 el consumo total de energía fue de 4,141.352 petajoules (pJ). El sector transporte consumió 44% en el consumo final energético, mientras que el sector industrial abarcó el 30%, por su parte los subsectores residencial, comercial y público registró una participación de 23% y el sector agropecuario contribuyó con 3% (Gráfico 1).

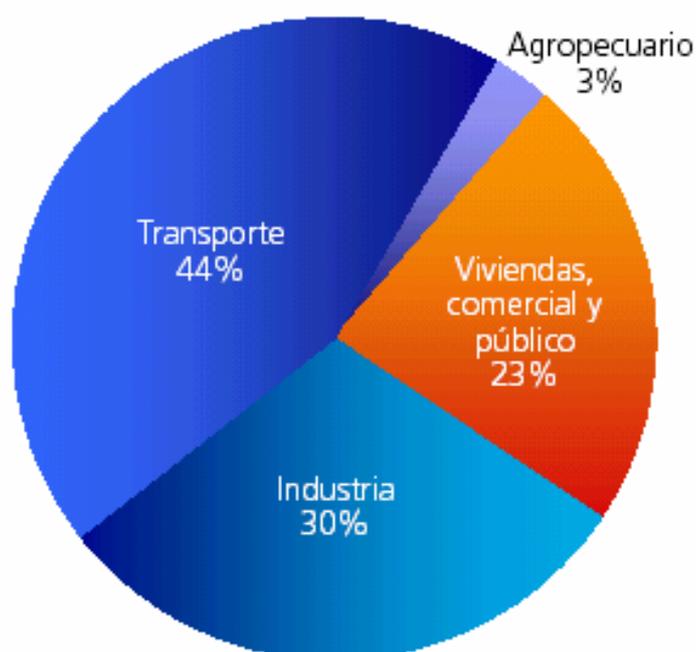


GRÁFICO 1. CONSUMO ENERGÉTICO EN MÉXICO POR SECTOR.

FUENTE: BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2004.

³ Op. Cit., pág. 25

El sector habitacional, comercial y público requirió 873.4 pJ. Del total de este grupo: 83.8% corresponde al residencial, 13.7% al comercial y 2.6% a los servicios públicos (Gráfico 2).

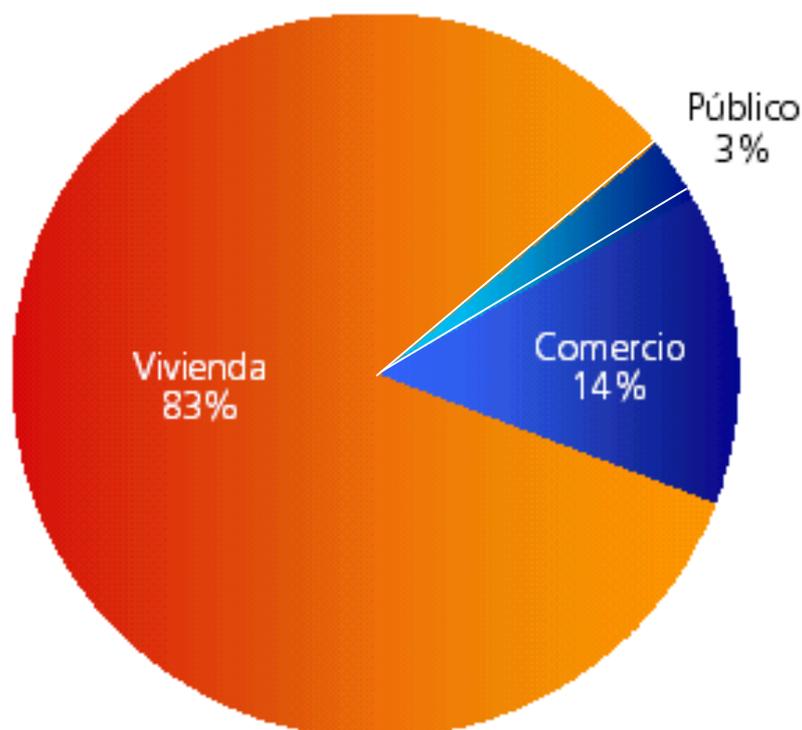


GRÁFICO 2. CONSUMO ENERGÉTICO DE SUBSECTOR VIVIENDA, COMERCIO Y PÚBLICO.

FUENTE: BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2004.

Específicamente, en el subsector vivienda, los energéticos de mayor consumo fueron el gas licuado (40% del total) y la leña (35.3 %), y en menor medida: la electricidad (20%), el gas natural (4.4%) y los querosenos (0.2%) (Gráfico 3).

Después del gas LP y la leña, utilizados para calentamiento de agua y cocción de alimentos, es importante señalar que, en nuestro país, aunque la electricidad ocupa el tercer lugar, es el energético más utilizado en la vivienda, debido al uso de electrodomésticos, equipos de iluminación y sistemas de climatización (aire

acondicionado y calefacción). Sin embargo, en algunas ciudades, el consumo de electricidad compite por el primer lugar con el gas LP, el cual se utiliza para el aire acondicionado y la calefacción.

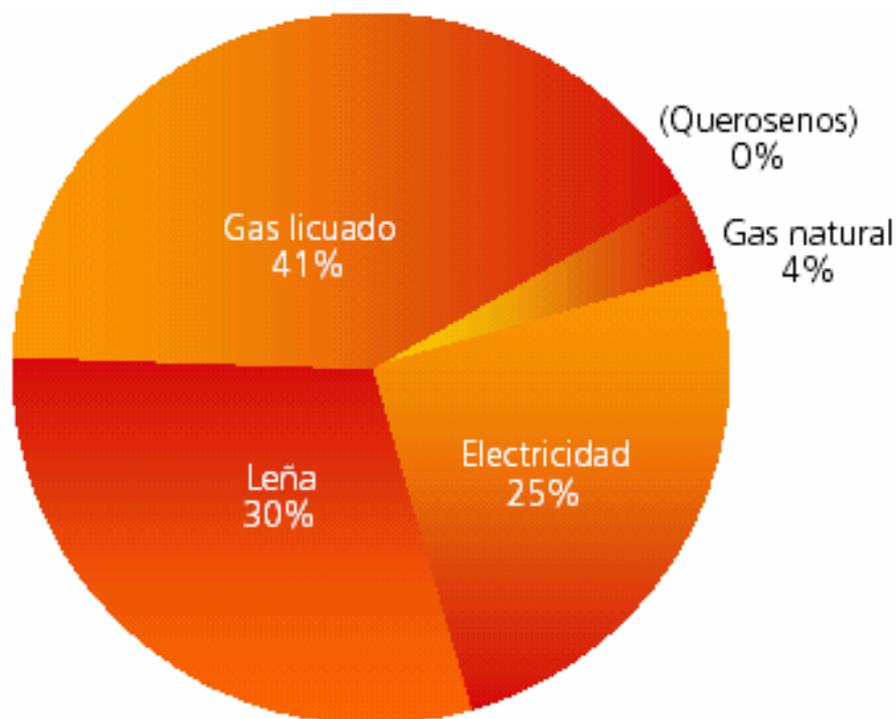


GRÁFICO 3. ENERGÉTICOS UTILIZADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL, COMERCIAL Y PÚBLICO.

FUENTE: BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2004.

El consumo energético en el sector residencial ha sido históricamente uno de los de mayor crecimiento, tanto en su utilización como en el incremento del número de usuarios⁴. De las ventas de energía eléctrica que ascendieron a 160 mil 384 GWh en el 2003, 20% tuvo como destino final el sector vivienda, el cual está integrado por 23.7 millones de usuarios, que comprende 88% del número total de clientes atendidos por el sector eléctrico en México (Gráfico 4).

⁴ Op. Cit., pág. 15

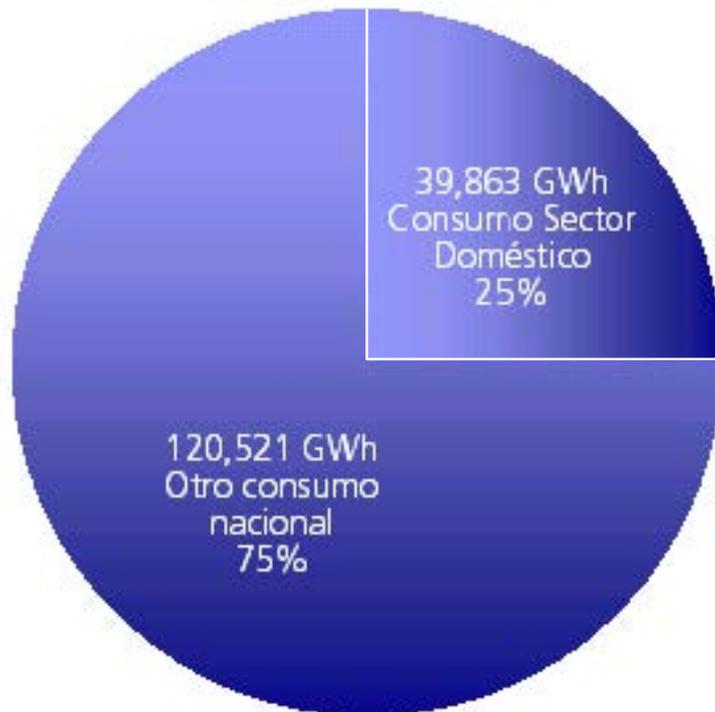


GRÁFICO 4. IMPORTANCIA EN EL MERCADO NACIONAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA, 2003.

FUENTE: GUÍA CONAFOVI 2006.

Necesidades de energía en la vivienda

En la vivienda, la energía es utilizada principalmente para calentar agua, preparar alimentos, iluminación, conservación de alimentos y diversas formas de entretenimiento. El promedio nacional del uso de la energía en la vivienda de México se presenta en el gráfico 5, donde se aprecia que el mayor uso es para la cocción de alimentos, seguido por el calentamiento de agua y el rubro de iluminación.

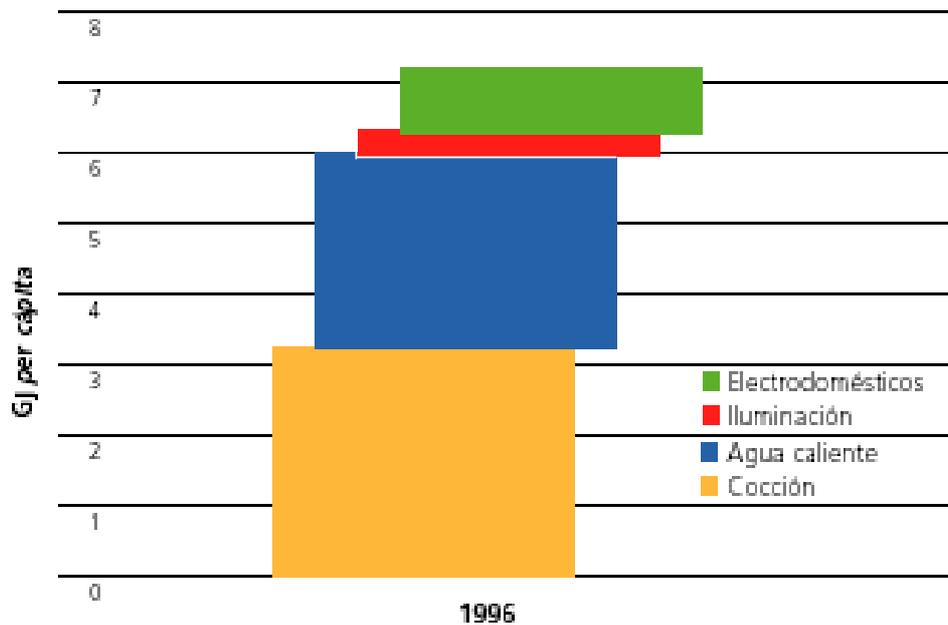


GRÁFICO 5. USOS DE ENERGÍA EN LA VIVIENDA URBANA PER CÁPITA EN MÉXICO (POR USOS FINALES).

FUENTE: PUE 1996

“La climatización y los electrodomésticos en general ocupan en el promedio nacional el 3er lugar. Cabe aclarar que las viviendas del norte de México, cuyo clima es cálido-seco, y las de las costas, con clima cálido-húmedo, demandan mayor energía para la climatización y, por lo tanto, en estas zonas el uso de energía para climatización ocupa el segundo lugar de consumo.”⁵

En el gráfico 6, se presenta el impacto promedio del aire acondicionado a nivel nacional.

“Ante la falta de información oficial y con base en entrevistas a los desarrolladores de vivienda y experiencia de los investigadores, se asume que en el norte y el sureste, el uso de aire acondicionado es muy alto y rebasa a los demás equipos”.⁶

⁵ Op. Cit., pág. 16

⁶ Op. Cit., pág. 17

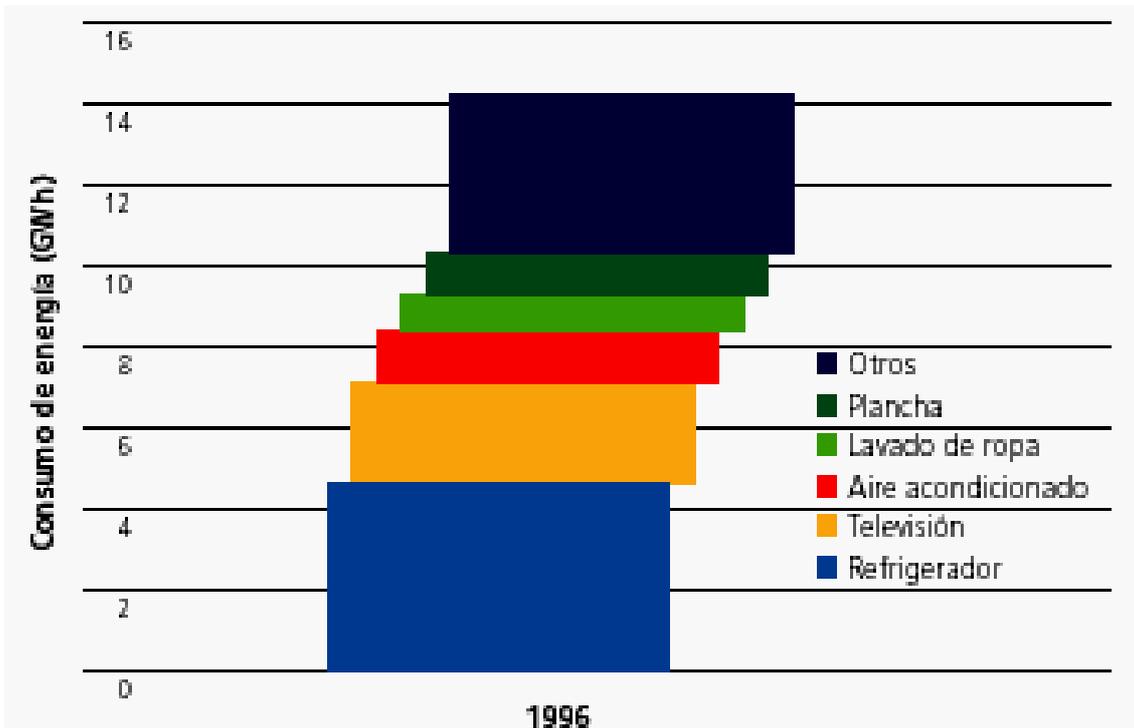


GRÁFICO 6. USOS DE ELECTRICIDAD POR APARATOS DOMÉSTICOS EN LA VIVIENDA DE MÉXICO

FUENTE: PUE 1996

Las condiciones logradas en la edificación sea cual fuere el sistema de climatización conllevan al bienestar o malestar desde la perspectiva de comodidad de los usuarios, por lo que se hace necesario comprender los acontecimientos durante el intercambio de energía entre el cuerpo humano y el medio circundante, temas tratados a continuación.

1.2. EJEMPLO ANÁLOGO.

Con el fin de realizar un marco de referencia a esta investigación, se indagó a cerca de otros estudios similares y se obtuvo la siguiente información.

El siguiente es un trabajo que en la búsqueda de la reducción del gasto energético, realiza una experimentación aplicada al muro trombe denominada "Desarrollo de

muros cerámicos bioclimáticos”⁷. Las instituciones que colaboraron fueron: la Consejería de Industria y Trabajo de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha y la Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida (HISPALYT), contando con la colaboración especial del Instituto del Frío del CSIC.

El objetivo del proyecto fue demostrar la posibilidad de reducir la demanda energética de los edificios mediante el uso de construcciones bioclimáticas a base de ladrillos cerámicos combinados con acumuladores de calor con cambio de fase, aprovechando la inercia térmica del sistema constructivo resultante.

Dentro de la tarea investigadora se procedió al diseño de una pieza cerámica capaz de contener el acumulador, formando un único elemento constructivo para utilizar en los cerramientos de edificios. Se ha estudiado también la posibilidad de incorporar los acumuladores en muros de alta capacidad térmica, conocidos como muros Trombe.

El muro Trombe, es un sistema constructivo con capacidad natural de captación pasiva de energía solar, y está formado por una hoja de vidrio exterior, una cámara de aire, y un elemento de alta inercia térmica, generalmente de hormigón, el cual constituye la hoja interior del muro. La transmisión de la energía captada se realiza tanto por conducción a través de la hoja interior, como por convección del aire calentado en la cámara y recogido a través de las aberturas superiores e inferiores que tiene la hoja interior del muro.

Para verificar la viabilidad técnica de los nuevos sistemas constructivos diseñados, se construyeron en el Centro Tecnológico de Toledo dos módulos experimentales,

⁷ http://www.aitemin.es/docs/muro_cer_bc/doc.html

cada uno de ellos con un método constructivo distinto en cuanto a la incorporación de los acumuladores en el cerramiento. Los módulos presentan en su fachada sur un muro Trombe modificado, en el que se sustituyó el hormigón de la cara interior por bloques de vidrio con acumuladores de calor con cambio de fase. Además se construyó otro módulo de referencia, siguiendo el sistema constructivo convencional.

Durante el periodo comprendido entre mayo y noviembre se realizó un seguimiento continuo del comportamiento térmico de los módulos, mediante toma automática de temperatura cada 15 minutos, y durante las 24 horas del día, tanto en el exterior como en el interior de los mismos. Igualmente se han realizaron medidas de temperaturas puntuales para comprobar el comportamiento de los acumuladores durante el cambio de fase.

Como se observa en la reseña, el trabajo consistió en la aplicación de un material nuevo que podría mejorar el desempeño del muro trombe, y aunque esta diseñado para un país de condiciones climáticas diferentes al de esta investigación, es notable el esfuerzo realizado por optimizar las condiciones de este sistema pasivo.

· CAPÍTULO 2 ·

SISTEMAS PASIVOS

2.1. GENERALIDADES

Una de las funciones primordiales de todo edificio es contrarrestar al menos algunas de las principales desventajas del clima donde es situado, debe ser posible, filtrar, absorber o repeler los elementos climáticos o de otro tipo para provocar respuestas físicas, fisiológicas y psicológicas óptimas de comodidad a los habitantes o usuarios. Por lo que uno de los medios de los que nos podemos valer los arquitectos, para proporcionar confort térmico en las edificaciones es la implementación de técnicas pasivas de climatización y no generar más consumo de energía no renovable.

La técnica solar pasiva consiste en el diseño del edificio de acuerdo con el clima y en la concepción física adaptada al respectivo clima, este tema es de hecho antiguo pues nuestros ancestros ya aplicaban muchos de estos fundamentos en sus edificaciones.

Actualmente las cifras de ahorro de algunos sistemas pasivos de energía solar ya pueden ser citadas, no obstante se presentan aún importantes lagunas en cuanto a valores experimentales.

"El término pasivo se refiere a que en todos los casos la energía transferida para y desde el edificio, se da por medio de un proceso natural, por conducción, convección y radiación, donde intervienen los componentes del edificio, tratando

de que la intervención de sistemas mecánicos externos sea mínima. Y de esta manera lograr que en el interior del edificio se den las condiciones de comodidad térmica para los habitantes del mismo.”¹

Los elementos constructivos y los procesos térmicos son combinados de distintos modos en soluciones pasivas. La familiaridad con estos "componentes" habilita al proyectista para tomar decisiones con respecto a cada proyecto particular.

El proyectista puede variar estos medios para satisfacer los requerimientos especiales del respectivo proyecto. Tales requerimientos son diversos y dependen principalmente de la ubicación, del clima, de las funciones del edificio y de las actividades que se desempeñan en él. Estas variaciones a su vez influyen en la selección del diseño pasivo.

2.1.1. CONFORT

Un tema muy importante en esta materia es el de la molestia o comodidad que pueden producirnos las características ambientales de un espacio determinado. Este concepto que normalmente designamos con la palabra "confort", puede ser una sensación inconsciente que en muchos casos sólo se reconoce si alguna circunstancia hace que nos fijemos.

La palabra confort se refiere en términos generales, a un estado ideal del hombre que supone una situación de bienestar, salud y comodidad en la cual no existe en el ambiente ninguna distracción o molestia que perturbe física o mentalmente a los usuarios.

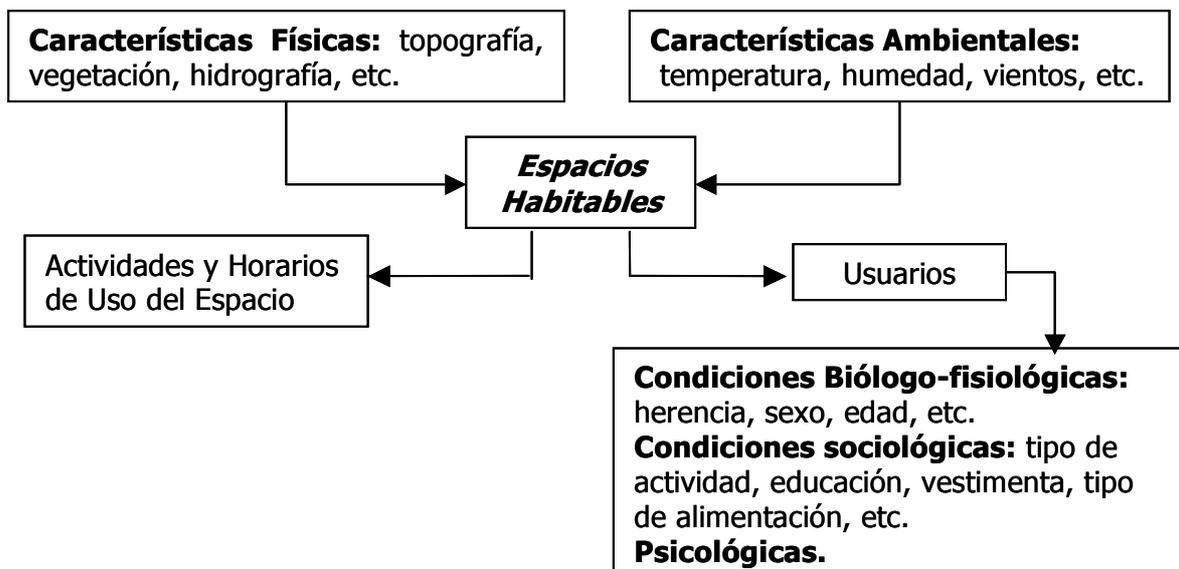
¹ Diego A. Samano, J. Diego Morales y David Morillón G.; "*Aspectos Bioclimáticos en el Diseño de Edificios Confortables de Máxima Eficiencia Energética*"; **Notas del Curso de Actualización de Energía Solar**, Temixco Morelos, UNAM, 1997; p. 207.



IMAGEN 1. EL CONFORT O DISCONFORT ESTA PRESENTE EN NUESTRA VIDA DIARIA.

El confort de un ambiente dependerá tanto de las manifestaciones energéticas, que expresan las características físicas y ambientales de un espacio habitable, como del uso del espacio y de sus ocupantes, además de las condiciones biológico–fisiológicas, sociológicas y psicológicas de cada uno de los usuarios.

CONFORT EN ESPACIOS ARQUITECTÓNICOS



Según Fanger son seis los factores y parámetros básicos que influyen directamente en los porcentajes de pérdidas de calor del cuerpo humano, afectando el bienestar térmico:

- Temperatura del aire
- Temperatura media radiante
- Humedad relativa
- Velocidad del aire
- Tasa metabólica y la ropa

El confort en las edificaciones se da a tres niveles, acústico, visual y térmico. Esta investigación aborda exclusivamente el confort térmico, en él intervienen los complejos fenómenos de intercambio de energía entre el cuerpo y el medio ambiente. A continuación se desarrolla esta temática para una mejor comprensión.

PRODUCCIÓN Y PÉRDIDA DE CALOR DEL CUERPO HUMANO

El hombre conserva la temperatura notablemente constante a pesar de las variaciones grandes o pequeñas en la temperatura ambiental. El cuerpo humano genera calor constantemente como producto secundario de las reacciones metabólicas celulares, y pierde calor permanentemente por intercambio con el medio ambiente, para mantener una temperatura entre los 36.5 °C y 37 °C, que aumenta o disminuye a lo largo del día. Para conservar la temperatura corporal uniforme, el cuerpo debe equilibrar la cantidad de calor que produce con la que pierde. Para establecer este balance, pierde calor por radiación, convección conducción y evaporación, y lo gana a través del metabolismo basal, la actividad

muscular, el efecto de la tiroxina, el efecto de la adrenalina y el efecto de la temperatura sobre las células².

De esta pérdida de calor, el 80% o más se efectúan por la piel y el resto por la mucosa de los aparatos respiratorio, digestivo y urinario. Estos fenómenos funcionan con relación a la temperatura del aire y la temperatura media radiante, siendo ésta última la que sentimos y que proviene de todos los objetos del local en el que estemos.

Medios por los que el hombre pierde calor

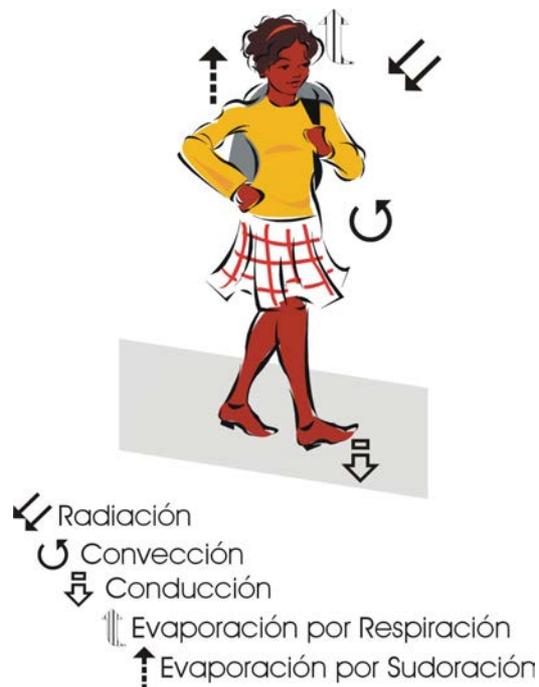


IMAGEN 2. MANERAS EN QUE EL CUERPO HUMANO PIERDE CALOR.

1. *Radiación*.- El calor se irradia de la superficie corporal a objetos adyacentes más fríos que la piel, y a la inversa, la cantidad de pérdida calorica por

² Diego A. Samano, J. Diego Morales, Op. Cit. p 200.

radiación en la piel varía según se necesite por dilatación de los vasos sanguíneos superficiales cuando debe perderse calor, y por vaso constricción cuando disminuye. Cuando la temperatura ambiental es fría, a la radiación correspondiente le atañe un mayor porcentaje de la pérdida calorica por la piel que a la conducción y a la evaporación sumadas.

2. *Convección*.- disipación de calor por la piel a consecuencia del paso del aire por la superficie.
3. *Conducción*.- Es el paso de calor de cualquier sustancia u objeto que este en contacto con el cuerpo: ropa, joyería, etc.
4. *Evaporación*.- Cuando la temperatura es moderada se pierde aproximadamente el 50% del calor por radiación. Si la temperatura ambiental es alta, la evaporación es el único método del que dispone el cuerpo humano para perder calor por la piel. La atmósfera húmeda retarda obligadamente la evaporación y en consecuencia, disminuye el efecto de enfriamiento que produce, lo cual explica porque la misma temperatura parezca más alta en climas húmedos.

La estimulación de los receptores térmicos cutáneos produce sensaciones de calor o frío; también inicia los movimientos voluntarios para reducir estas sensaciones, por ejemplo: abanicarse para enfriarse o hacer ejercicios para calentarse. Como ésta investigación se ubica en una zona calurosa, no se tratarán temas acerca de cómo el cuerpo humano produce ganancias de calor, sino de cómo los disipa.

Mecanismos de disipación de calor.

El hipotálamo es el "termostato" que activa las glándulas sudoríparas que aumentan la secreción, además de causar la dilatación de los vasos sanguíneos superficiales. La evaporación del mayor volumen de sudor aumenta la pérdida de calor por la piel. Las glándulas se activan hasta con una variación de 0.01 °C sobre los 37 °C normales.

Las consecuencias de que un cuerpo tenga demasiado calor son realmente importantes, ya que fisiológicamente existen cambios dramáticos dentro del funcionamiento interno y externo como es la falta de circulación y de oxigenación al cerebro y rápidamente producen signos de deshidratación o shock por calor como desvanecimiento, dolor de cabeza, náusea, visión borrosa y en casos graves la muerte. El rango de temperatura límite que puede llegar a tener el cuerpo humano son 15.5 °C y 55 °C (temperatura ambiente con el cuerpo desnudo)³.

En el siguiente tema se darán las respuestas del cuerpo humano con respecto a las temperaturas altas y húmedas.

TEMPERATURAS ALTAS Y HÚMEDAS.

Los límites de tolerancia a altas temperaturas varían según la capacidad de⁴:

1. Sentir la temperatura
2. Perder calor por exudación reguladora
3. Desplazar el calor interno del cuerpo mediante el riego sanguíneo a la superficie de la piel, donde el enfriamiento es más efectivo.

Hay muchos procesos de correlación implicados en la fatiga térmica. Temperaturas en la superficie de la piel de 46 °C activan receptores de dolor en la misma. Sin embargo ya que el aislamiento térmico de la capa de aire que rodea la piel es elevado, pueden tolerarse temperaturas de aire seco mucho más altas.

El grado y la duración de tiempo que un cuerpo puede sudar, son limitados. El grado o régimen de exudación para un hombre medio es aproximadamente de 0.5

³ Diego A. Samano, J. Diego Morales, Op. Cit. p 202 .

⁴ ASHRAE; Handbook of Heat Transfer Applications; Mc. Graw Hill; 2a Edición 1977; p. 35.

mg/seg. Si todo este sudor se evapora de la superficie de la piel en condiciones de baja humedad y de bajo movimiento de aire, el enfriamiento bajo es de alrededor de 675 w/m^2 . No obstante, este valor no ocurre normalmente, porque el sudor se desliza por la piel por enfriamiento evaporativo o es absorbido por la ropa o se evapora dentro de ella. Un límite de enfriamiento más práctico es el considerado en Mets, de 350 w/m^2 , que representa aproximadamente 0.3 mg/s de exudación, para un hombre medio.⁵

La tasa máxima de sudor compatible con el enfriamiento del cuerpo varía con⁶:

1. El grado de aclimatación al calor
2. Duración de la exudación
3. y si el sudor se evapora o simplemente satura la piel y gotea.

El equilibrio se mantiene por la disipación de la producción del calor en reposo (1 Met) más cualquier carga radiante y convectiva. Si el medio ambiente no limita la pérdida de calor del cuerpo durante una actividad pesada, la disminución de la temperatura de la piel compensa la subida de la temperatura interior. Por lo tanto, la temperatura media del cuerpo se mantiene, aunque aumente el gradiente del interior de la piel.

Las víctimas por agotamiento de calor sufren la pérdida momentánea de conciencia. También puede producirse una aceleración de la frecuencia del pulso, como consecuencia de un retorno inadecuado venoso al corazón por encharcamiento de la sangre en la piel y extremidades inferiores.

Si la temperatura interna aumenta por encima de $41 \text{ }^\circ\text{C}$, se puede producir un daño por ataque fulminante de calor, frecuentemente, irreversible y comporta un

⁵ Ibidem p. 36.

⁶ Ibidem p. 37.

elevado riesgo de mortalidad. Un problema final, la hiperventilación, se produce predominantemente en condiciones cálidas húmedas, cuando se elimina demasiado CO_2 de la sangre. Esto puede inducir las sensaciones de hormigueo, adormecimiento de la piel y vasoconstricción en el cerebro, como la pérdida ocasional de conciencia.

ZONAS DE CONFORT

A la serie de condiciones en que se produce el bienestar térmico se le llama zona de confort, factor que difiere según las personas y depende de la ropa empleada, situación geográfica, edad y sexo. Aunque la zona de confort se define como una estimación subjetiva de las condiciones ambientales, los límites de esta zona tienen una base fisiológica: la serie de condiciones para las cuales los mecanismos termorreguladores del cuerpo humano se encuentran en un estado de mínima actividad. El bienestar, además de la temperatura del aire y de las superficies, también depende de la humedad relativa del aire y de su movimiento, no se puede expresar en términos de ninguno de esos factores aislados, ya que afectan al cuerpo de forma simultánea, dependiendo la influencia de cada uno de ellos, de los valores que tomen los otros factores. Se ha intentado evaluar el efecto conjunto de estos factores sobre la respuesta fisiológica y sensorial del cuerpo, y expresar la combinación de estos factores en función de un único parámetro o "índice térmico" que se pueda representar con un diagrama de barras.

Víctor Olgyay fue el primero que propuso un método sistemático para adaptar el diseño de un edificio a las necesidades humanas y a las condiciones climáticas. Su método se basa en el ábaco Bioclimático, en el cual se puede determinar las zonas de confort (una para verano y otra para invierno) para la región climática a la que se aplique. Esta carta es un diagrama (Imagen 3) de condiciones básicas donde el eje de abscisas representa la humedad relativa y el de coordenadas la temperatura. Entonces se pueden evaluar las condiciones de confort, se pueden

calcular las desviaciones con respecto a la zona de confort y se puede subsanar por medios naturales.

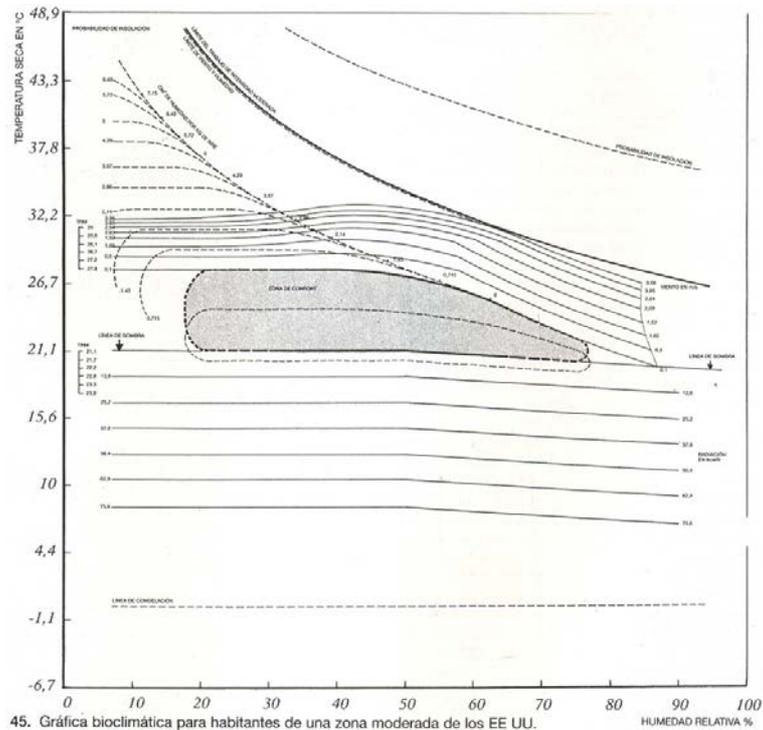


IMAGEN 3. ÁBACO BIOCLIMÁTICO DE OLGYAY

La relación entre las condiciones interiores y exteriores, sin embargo varía ampliamente según las distintas características constructivas y de diseño del edificio, y como Givoni señala el Ábaco Bioclimático queda limitado en sus posibilidades de aplicación, ya que el análisis de las necesidades fisiológicas se basa en el clima exterior y no en el supuesto dentro del edificio en cuestión. Él ha propuesto un método alternativo que utiliza uno de los índices térmicos para evaluar las necesidades humanas de bienestar, a partir del cual se determinan las características que ha de tener el diseño del edificio para conseguir este bienestar.

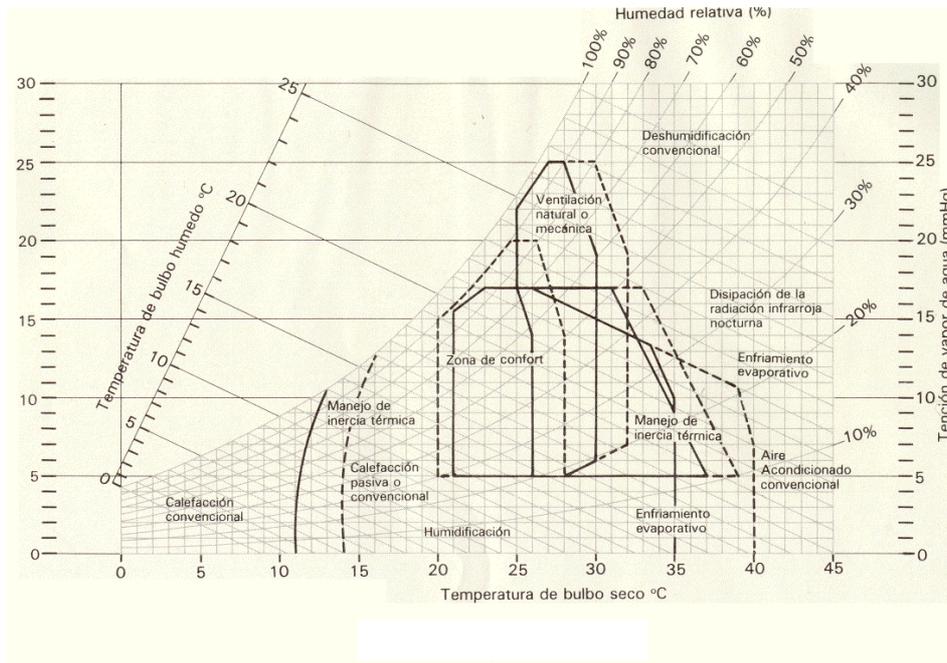


IMAGEN 4. ÁBACO BIOCLIMÁTICO DE GIVONI

El método consiste en hacer una estimación del clima interior por razones de aplicación práctica se dibujan en un único diagrama (Imagen 4), la ventilación reducción de la temperatura del aire y el enfriamiento por evaporación (para condiciones ambientales que combinen series diferentes de temperatura y de presión de vapor) en lo que se ha llamado Ábaco Bioclimático del Edificio.

Otro método que es muy práctico a la hora de definir la zona de confort es la fórmula de Auliciems⁷.

$$\text{Rango de confort} = (17.6 + 0.31T_n) \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Esta determina la zona de confort para cada mes en función de la temperatura ambiente, el intervalo de la zona de confort es de 5°C, las temperaturas ambiente

⁷ Morillón Gálvez, David y Mejía Domínguez, David, "Modelo para Diseño y Evaluación del Control Solar en Edificios", **Serie Investigación y Desarrollo**, Instituto de Ingeniería de la UNAM, SID/645 Diciembre 2004, p. 30

por arriba de ese umbral indican periodos sobrecalentados y las temperaturas por debajo indican periodos fríos.

Esta fórmula será utilizada en el Capítulo 6 donde se analizan los datos registrados.

2.1.2. TRES MODOS FUNDAMENTALES DE LA TRANSMISIÓN CALORÍFICA.

El tema a continuación muestra la forma en que el flujo de energía atraviesa las paredes y ventanas, esto con el fin de obtener más conocimientos que permitan discernir con mayor facilidad el proyecto pasivo.

Antes de explicar los tres modos de la transmisión calorífica, resulta importante definir los fenómenos físicos elementales, como el calor y la temperatura.

- El calor es la energía que se transfiere.
- La temperatura es una propiedad que mide el nivel de desequilibrio térmico de un material con respecto a otros.

Cuando un cuerpo se calienta por rayos solares, tiende a una compensación de calor con su entorno. El calor siempre fluye de un punto más caluroso a otro más frío, hasta que no haya diferencia de calor entre ambos. En este contexto hay que distinguir las tres formas fundamentales de la transmisión de calor que son de importancia para la utilización pasiva de la energía solar:

Conducción de calor: Cuando una materia absorbe radiación solar, ésta es transformada en energía calorífica que se distribuye dentro de un cuerpo por medio de la conducción de calor. La conducción de calor es un proceso físico en el

que es transmitido dentro de una materia por medio de interacción molecular directa.

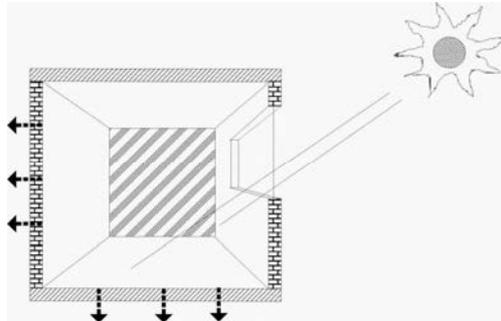


IMAGEN 5. CONDUCCIÓN.

El calor en este proceso siempre fluye de lo caliente a lo frío, del nivel energético más alto al más bajo, puesto que las moléculas superficiales de un cuerpo se calientan por medio de la radiación solar, entregan su energía a moléculas vecinas más frías que a su vez siguen distribuyendo el calor, de forma que el cuerpo paulatinamente adopta una temperatura homogénea.

Convección: Una materia trasmite calor desde su superficie, sobre las moléculas de un medio vecino (líquido o gaseoso) por medio de la convección. La convección está definida como la trasmisión de calor entre la superficie de un cuerpo y una molécula en movimiento o como la trasmisión de calor por medio del movimiento molecular de un lugar a otro en el interior de un líquido, de un gas o una mezcla gaseosa.

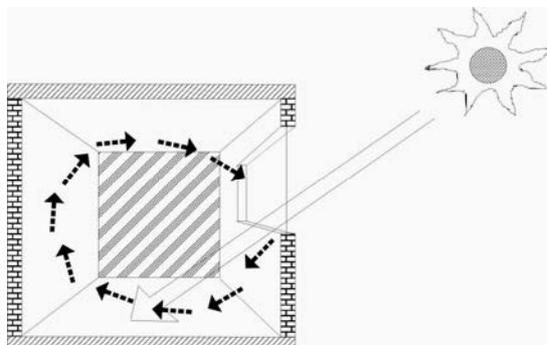


IMAGEN 6. CONVECCIÓN.

En el proceso físico de la convección, el calor se desplaza desde el nivel energético más alto al más bajo. Cuanto mayor es la diferencia de temperatura tanto más calor se transmite. Puesto que el aire caliente se expande a raíz del calentamiento se hace más ligero y asciende, al acudir aire más frío se produce un movimiento natural de aire, y entonces se genera la convección natural. Pero si el movimiento de aire se acelera mediante algún agente externo, por ejemplo un ventilador, una bomba o agentes meteorológicos, se habla de convección forzada.

El proceso físico de la convección también funciona en sentido inverso, si un medio caliente entra en contacto con una superficie fría, las moléculas más calientes entregan una parte de su calor (energía) a la superficie fría, se hacen más pesadas y descienden, esto se puede apreciar claramente cerca del suelo. En este trance puede producirse condensación, el agua suspendida en el aire se deposita sobre la superficie fría si la temperatura de ésta queda por debajo del punto de rocío del aire.

Radiación de calor: La radiación es la trasmisión de calor más interesante en términos físicos. Todos los cuerpos irradian permanentemente energía, en este caso calor, en todas direcciones a raíz de las vibraciones que efectúan sus moléculas superficiales.

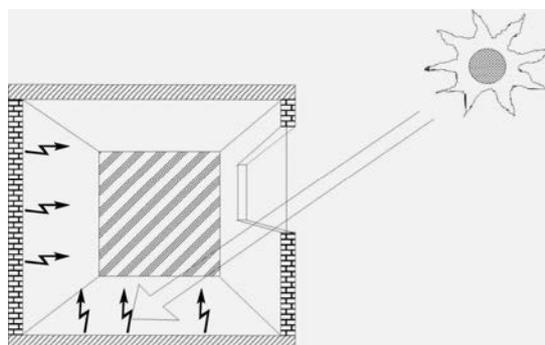


IMAGEN 7. RADIACIÓN DE LOS MATERIALES.

A diferencia de la radiación solar de amplitud corta, que se irradia a temperaturas muy altas, la radiación térmica o calor consta de radiación infrarroja de amplitud larga y tiene un nivel energético mucho más bajo. La cantidad de energía de radiación emitida por un cuerpo depende fundamentalmente de su temperatura de superficie. Ésta simultáneamente también determina la amplitud de onda de la radiación.

2.2. CLASIFICACIÓN Y TIPOS

Los sistemas pasivos se caracterizan por formar parte de la estructura misma del edificio, son sistemas que interaccionan con el medio ambiente a través de sus componentes. Estos componentes están incorporados estructuralmente a la construcción, por lo que muchas veces pasan inadvertidos.

Los sistemas pasivos pueden ser clasificados de acuerdo a tres aspectos⁸: *Configuración estructural, Género y Requerimientos de Climatización.*

De acuerdo con su *configuración estructural* se clasifican en los siguientes tipos: Ganancia directa, Muro de almacenamiento térmico (dentro de ellos el Muro solar o Trombe), Invernadero acoplado, Techo de almacenamiento térmico e intercambio de calor y Circuito convectivo.

Según su *género* en: Directo, Indirecto y Aislado.

Conforme a los *requerimientos de climatización*: Calefacción, Enfriamiento, Humidificación, Deshumidificación, Ganancia Directa y Protección Solar.

⁸ Morillón Gálvez David, "*BIOCLIMÁTICA, Sistemas Pasivos de Climatización*", Universidad de Guadalajara, 1993, p. 20

El objetivo principal de esta investigación consiste en diseñar e indagar el funcionamiento de un dispositivo solar construido con base en el muro solar. Por lo que el Sistema Pasivo a analizar es Muro de Almacenamiento Térmico, también conocido con el nombre de Muro Solar o Muro Trombe.

2.2.1. MURO SOLAR O TROMBE

El muro Trombe es un elemento constructivo situado entre una zona exterior y un espacio que deseamos climatizar actuando en realidad como un colector de la energía solar.

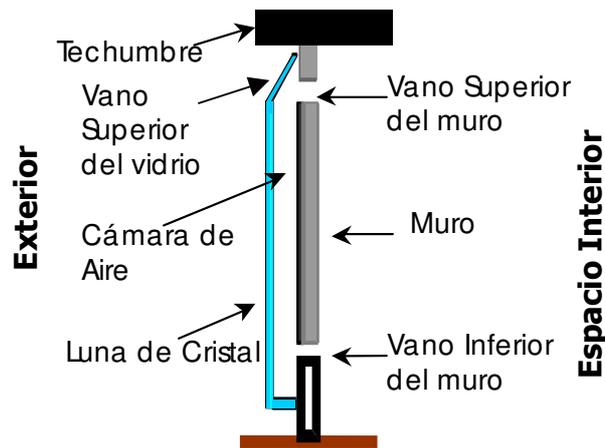


IMAGEN 8. CARACTERÍSTICAS DEL MURO TROMBE

El muro Trombe está conformado por un muro y un vidrio separados entre sí por medio de una cámara de aire. El vidrio se sitúa en la cara exterior del muro, este último está fabricado con un material de alta inercia térmica como ladrillo, piedra, etc. habitualmente pintado de un color oscuro para lograr una mayor absorción de la energía del sol. En la parte superior e inferior del muro se localizan orificios de ventilación que permiten la circulación del aire.

En este sistema actúan los fenómenos de conducción, convección y radiación:

- El fenómeno de transferencia de calor por conducción se efectúa mediante la comunicación molecular directa en el muro, a distintas temperaturas, este calor fluye de mayor a menor temperatura, es decir, de la cara exterior donde incide el sol a la cara interior.
- El fenómeno convectivo. En el sistema el movimiento del aire, resulta como consecuencia de los gradientes de densidad que experimenta al estar en contacto con la superficie acumuladora (muro), la cual se encuentra a una temperatura elevada.
- La radiación está presente cuando el calor es emitido por las superficies del sistema.

Para comprender su funcionamiento, se muestra el tema tratado en dos libros. El primero proporciona datos acerca de las áreas del colector, las radiaciones incidentes y la capacidad de producir calor. El segundo confiere datos acerca de la distancia entre la pared y el vidrio.

1) "Energía Medio Ambiente y Edificación" de Phillip Steadman.

El científico solar francés, el profesor Félix Trombe desarrolló un diseño de muro solar para calefacción, cuyos principios se aplicaron en tres casas construidas por el arquitecto Jacques Michel, de ahí su nombre "muro Trombe – Michel". Los dos primeros prototipos se construyeron cerca de Montlouis, en los Pirineos (Latitud 43°N). La tercera se terminó en 1971 en Chauvency-le-Chateau en el distrito de Meuse (latitud 49°N).

Según Michel, en la latitud de Montlouis y para un edificio con superficie aislamiento, un metro cuadrado de pared solar es suficiente para calentar diez metros cúbicos de espacio interior. En el solsticio de invierno, la pared recibe $7\text{kWh/m}^2/\text{día}$ y $1.7\text{kWh/m}^2/\text{día}$ en el solsticio de verano. Las dos casas prototipo

construidas en los Pirineos tenían paredes de 35 cm de espesor, y recogían tres cuartos de su calefacción de invierno de sol, con temperaturas exteriores bajo 0°C.

La casa de Chauvency-le-Chateau tenía una superficie de pared solar de 45 m². Michel ha publicado también planos para una casa solar circular. En 1973 mostró diseños de un sistema prefabricado de acero para viviendas, basado en una retícula de 3.6 X 3.6 m con paredes solares incorporadas en la fachada sur y en partes de las fachadas este y oeste.

Casa Solar Michel.

Odeillo, Francia, 1970.

Planta única, Superficie útil: 75m².

Latitud 43 °N

Colector Solar.

Tamaño del colector solar: 48 m², vertical. El colector comprende 12X4.9m de pared sur con excepción de 4X2.7m de abertura para la puerta. Dos lunas de cristal y cámara de aire delante del bloque de almacenamiento de hormigón pintado de negro.

Almacenamiento de

Energía Térmica.

Calor real en una pared de 35cm de espesor que cubre la parte trasera del colector, con aislamiento en la superficie interior. Capacidad para 18000Kcal/°C.

Circuitos.

Del colector al almacenamiento: ninguno.

Del almacenamiento a los recintos: aire.

2)“Construir con el Sol” de Michael y Heady Wachberger.

Los muros acumuladores solares de obra, que también se denominan “muros Trombe”, son la concepción más frecuentemente utilizada para sistemas indirectos de captación solar.

El muro Trombe consta de una pared acumuladora pintada de color oscuro por su cara exterior y orientada a mediodía. Delante de ésta se halla una cristalería doble a una distancia de aproximadamente 10 a 15 cm. El muro Trombe aprovecha la energía incidente tanto por medio de la capacidad acumuladora de la masa del muro como también por medio del efecto invernadero del vidrio situado frente al muro.

El calor es distribuido por el muro en la casa de dos formas distintas. Durante un periodo de varias horas el calor es transportado a través del muro y alcanza el paramento posterior a primera hora de la noche (calefacción retardada). En cuanto la temperatura interior desciende por debajo de la del paramento comienza a irradiarse el calor a la estancia. El desfase temporal depende de la conductividad del material del muro con su espesor y tipo de ejecución.

Pero la mayoría de los muros Trombe también están realizados de tal forma que distribuyen inmediatamente el calor mientras aún luce el sol. Para ello es preciso que el muro tenga vanos de dos tipos, unos en la zona del suelo y otros en la del techo. En cuanto el aire entre al paramento y el acristalamiento se calienta, comienza a ascender y fluye a través de las aberturas a la altura del techo y de este modo calienta el espacio. Este flujo produce una succión que absorbe el aire más frío del ambiente a través de las aberturas del suelo. Este ciclo de movimiento natural del aire se denomina convectivo.

El sistema consiste esencialmente en una unidad que combina el colector solar con el almacenamiento de calor en una pared sólida de hormigón orientada hacia el sur, pintada de negro en la superficie externa y cubierta de una o más lunas de cristal. El aire de la casa penetra dentro del espacio entre la pared y la cubierta de cristal, mediante unas aberturas en la parte inferior y circula a través del colector y hacia el interior de la casa de nuevo por otra serie de aberturas en la parte superior del colector movido naturalmente por convección. Las aberturas de la parte inferior están ligeramente por encima de la base del colector, para que por la mañana temprano y en los días nublados no pueda producirse el ciclo contrario, sino que el aire fresco descienda y quede atrapado en la base.

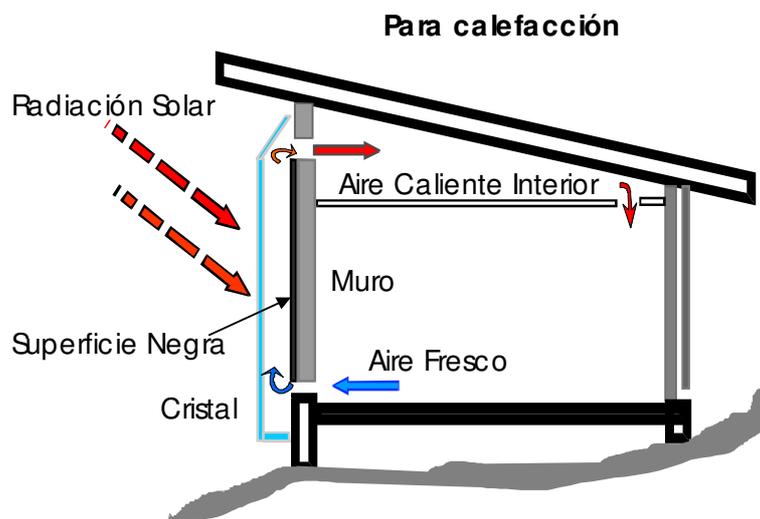


IMAGEN 8. SECCIÓN DIAGRAMÁTICA MOSTRANDO EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PARED SOLAR TROMBE – MICHEL EN INVIERNO.

En verano (imagen 9) la abertura superior del muro se cierra, el aire caliente del colector se expulsa al exterior por la parte superior del vidrio, que actúa así como chimenea térmica absorbiendo aire de la casa por las aberturas inferiores del muro y produciendo fresco mediante la ventilación forzada. El dispositivo propuesto en la presente investigación fue basado en este funcionamiento.

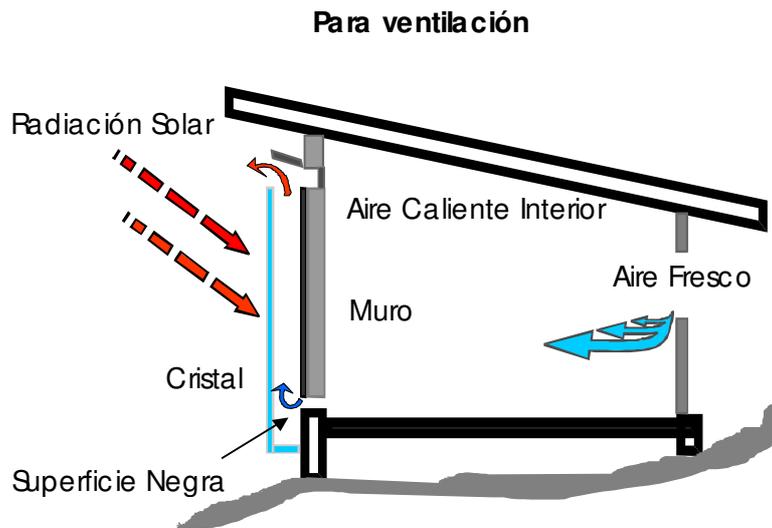


IMAGEN 9. SECCIÓN DIAGRAMÁTICA MOSTRANDO EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PARED SOLAR TROMBE – MICHEL EN VERANO.

Las pérdidas de calor del muro pueden regularse por medio de una cortina aislante que se extiende por la noche en el espacio entre el acristalamiento y el muro. Las aberturas en la pared también han de ser provistas de compuertas de retención para impedir un flujo convectivo inverso durante la noche, que enfría el aire natural.

El grado de efectividad de un muro acumulador viene determinado por el espesor, material y el color de la superficie. Puede producirse el sobrecalentamiento ambiental cuando se transmite más calor del necesario a través del muro, cuando la superficie es demasiado grande o el muro es de dimensiones demasiado pequeñas. El dimensionamiento correcto de las aberturas de ventilación del intersticio de convección entre el vidrio y la masa acumuladora también es muy importante. Cabe mencionar que estas consideraciones son aplicativas para latitudes de clima frío.

• CAPÍTULO 3 •

EDIFICACIÓN

Para sustentar la toma de decisiones a la hora de planificar el dispositivo, se realizó primeramente un diagnóstico climatológico de la zona de estudio con el fin de establecer las características del lugar donde se encuentra ubicada la vivienda, y posteriormente se definieron las características de la edificación para determinar las exigencias de los espacios interiores.

3.1. ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO

A manera de preámbulo, antes de presentar el análisis climático se da una pequeña reseña del estado de Tabasco, para tener un panorama del entorno y contexto del mismo.

El estado de Tabasco se encuentra situado al sureste de la República Mexicana, limitando al norte con el Golfo de México, al Sur con el estado de Chiapas, al Este con el estado de Campeche y Guatemala y al Oeste con el Estado de Veracruz.



IMAGEN 10. SITUACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTADO DE TABASCO.



IMAGEN 11. PAISAJES TABASQUEÑOS.

Se encuentra dividido en 17 municipios, la capital del Estado es la ciudad de Villahermosa y forma parte del Municipio del Centro, esta situada en las márgenes del Río Grijalva. Se ubica en latitud norte de $17^{\circ} 59'$, longitud $92^{\circ} 55'$ y altitud de 10 m sobre el nivel del mar.



IMAGEN 12. VILLAHERMOSA, TABASCO (RIBERA DEL RÍO GRIJALVA).

Es una región de terrenos básicamente planos, en la confluencia de varios ríos y con algunos lomeríos de pendientes muy ligeras. Las imágenes de la región proyectan, la presencia del mundo acuático como elemento modelador del medio físico y de las

poblaciones que lo habitan. Tiene un complejo sistema hidrológico, consta de grandes ríos caudalosos, que vierten sus aguas en el Golfo, y que también forman vastas lagunas rodeadas de manglares y vegetación cambiante.



IMAGEN 13. ILUSTRACIONES DEL SISTEMA HIDROLÓGICO.

El territorio es anegadizo y pantanoso en gran parte, y algunas zonas se inundan en época de lluvias. El clima es sumamente caluroso y húmedo; las lluvias son constantes, por eso un gran número de viviendas presentan techos altos y en declive.



IMAGEN 14. TIPOLOGÍA DE VIVIENDA VERNÁCULA.

La tierra es muy fértil; los productos principales son el cacao, café, arroz, frijol, maíz, tabaco, añil, zarzaparrilla, algodón azúcar, ixtle, cáñamo, palo de tinto, todo el género de pimienta malagueta, mejor conocida como de Tabasco.

El paisaje es siempre verde por la abundancia de la vegetación, se pueden encontrar desde árboles como el framboyán, guayacán, macuilís, hasta frutales; así como una gran variedad de arbustos.



IMAGEN 15. LIRIO ACUÁTICO

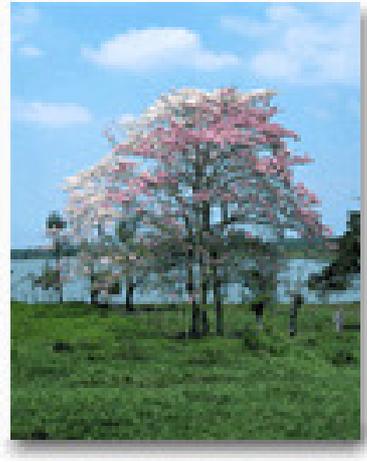


IMAGEN 16. ÁRBOL DE MACUILÍ

De acuerdo al sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García, Tabasco presenta un clima Am (f) w g, cálido-húmedo.

Para poder analizar las variables climatológicas se obtuvo información acerca de: temperatura ambiente, humedad relativa, viento, nubosidad y precipitación pluvial, proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional de Tacubaya ubicado en la ciudad de México. Los datos de radiación solar fueron tomados de la publicación del Instituto de Ingeniería de la UNAM "Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana".

Los parámetros climáticos analizados son:

1. La **temperatura** interviene en la evaporación y los movimientos de las masas de aire.
2. La **humedad relativa** es el factor que condiciona la evaporación.
3. El **viento**, es el movimiento del aire que se desplaza de una zona de alta presión a una zona de baja presión. Se caracteriza por su dirección, velocidad y frecuencia.
4. La **nubosidad** se relaciona con los periodos de sol.
5. La **radiación solar**, es la cantidad de sol que va a ser recibida por las superficies.

Los tablas climatológicas presentadas a continuación corresponden a la ciudad de Villahermosa, debido a que este es el lugar que cuenta con una estación meteorológica más cercana al poblado de Villa Ocuilzapotlán, la distancia entre ambos sitios es de 18 Km.

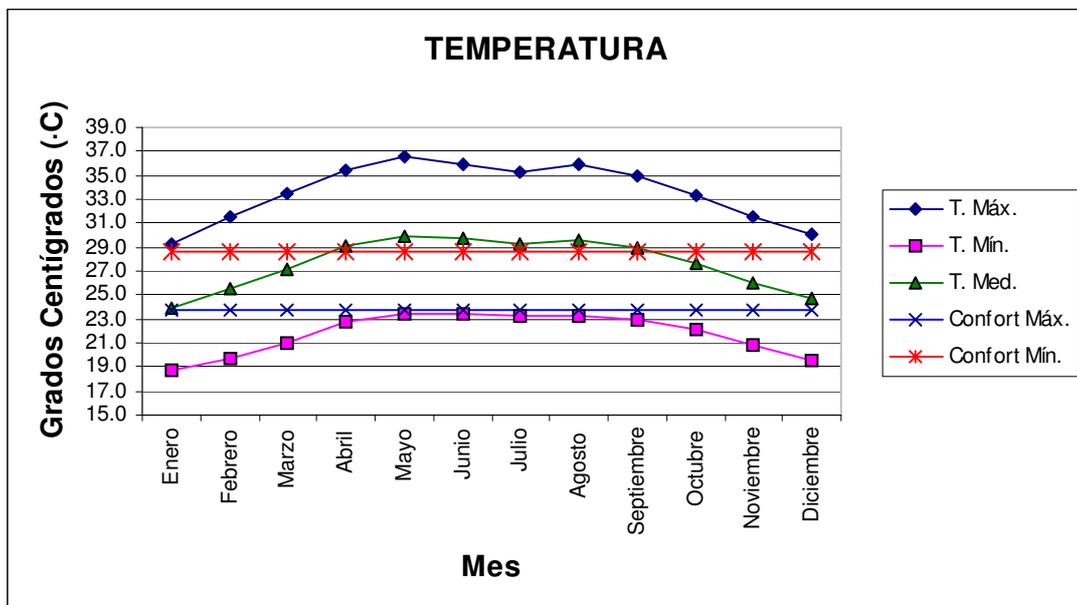


GRAFICO 7. TEMPERATURA

En el gráfico se advierte que los meses considerados dentro del rango de confort son: enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre; sin embargo esto no quiere decir que las temperaturas extremas de estos meses se encuentre dentro de dicho rango, tal como lo muestra la siguiente tabla.

TABLA 1. DATOS DE TEMPERATURA

MES	T. MÁX. EXTREMA	T. MÁX.	T. MED.	T. MÍN.	T. MÍN. EXTREMA	OSCILACIÓN	El rango de Confort obtenido según la fórmula de Auliciems va de 23.7 °C a 28.7°C
Enero	31.5	29.2	24.0	18.8	14.0	10.4	
Febrero	34.0	31.6	25.6	19.7	16.0	11.9	
Marzo	37.0	33.5	27.2	21.0	15.0	12.5	
Abril	41.0	35.5	29.1	22.8	18.0	12.7	
Mayo	42.0	36.5	29.9	23.4	21.0	13.1	
Junio	41.5	36.0	29.7	23.4	21.0	12.6	
Julio	38.5	35.3	29.2	23.2	22.5	12.1	
Agosto	37.5	36.0	29.6	23.2	22.0	12.8	
Septiembre	36.5	35.0	28.9	22.9	22.0	12.1	
Octubre	35.5	33.4	27.7	22.1	21.5	11.3	
Noviembre	34.0	31.5	26.0	20.8	17.0	10.7	
Diciembre	33.0	30.1	24.8	19.5	16.0	10.6	

En la tabla se observa que los dos meses más frescos son enero y diciembre, siendo enero el más frío. Los dos meses más cálidos son mayo y junio, siendo el más cálido Mayo.

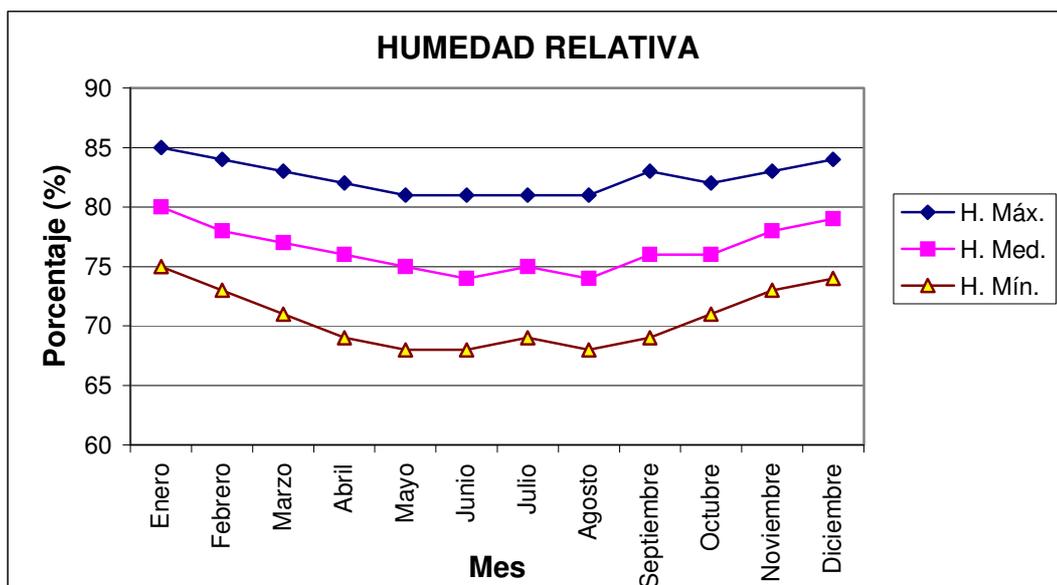


GRÁFICO 8. HUMEDAD RELATIVA.

En el gráfico se aprecia que el rango de humedad relativa va desde un 68% hasta un 85%. Coincidiendo la mayor cantidad de humedad con los meses más frescos y la menor con los meses más cálidos, tal como lo indica la tabla 2, aunque este último valor también se presenta en junio y agosto.

TABLA 2. DATOS DE HUMEDAD RELATIVA

<i>MES</i>	<i>H. MÁX</i>	<i>H. MED</i>	<i>H. MÍN</i>
<i>Enero</i>	85	80	75
<i>Febrero</i>	84	78	73
<i>Marzo</i>	83	77	71
<i>Abril</i>	82	76	69
<i>Mayo</i>	81	75	68
<i>Junio</i>	81	74	68
<i>Julio</i>	81	75	69
<i>Agosto</i>	81	74	68
<i>Septiembre</i>	83	76	69
<i>Octubre</i>	82	76	71
<i>Noviembre</i>	83	78	73
<i>Diciembre</i>	84	79	74

La dirección del viento predomina al Noreste, incluyéndose dentro de esta los meses más cálidos y frescos.

TABLA 3. DIRECCIÓN DEL VIENTO.

<i>MES</i>	<i>DIRECCIÓN</i>
<i>Enero</i>	NE
<i>Febrero</i>	NE
<i>Marzo</i>	NE
<i>Abril</i>	E
<i>Mayo</i>	NE
<i>Junio</i>	NE
<i>Julio</i>	NE
<i>Agosto</i>	SE
<i>Septiembre</i>	NE
<i>Octubre</i>	SE
<i>Noviembre</i>	SE
<i>Diciembre</i>	SE

TABLA 4. NUBOSIDAD.

MES	DIAS																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Enero	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Febrero	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	0	0	
Marzo	1	2	1	1	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	0	1	1	1	1	0	2	2	0	0	2	2	1	
Abril	2	0	1	1	2	0	0	0	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	0	1	1	2	0	
Mayo	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Junio	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	0	
Julio	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Agosto	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Septiembre	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	
Octubre	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	2	1	2	2	1	
Noviembre	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	0	
Diciembre	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

ESCALA DE NUBOSIDAD 2 Nublado 1 Medio Nublado 0 Despejado

Como se percibe en la tabla gran parte del año se mantiene nublado, sin embargo la radiación solar esta presente tal como se demuestra en el siguiente gráfico¹.

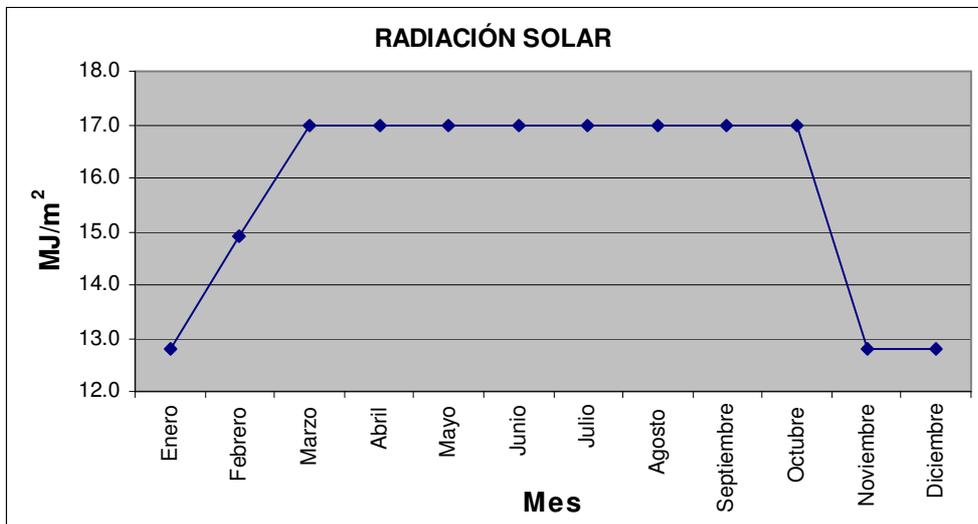


GRÁFICO 9. PROMEDIO DE IRRADIACIÓN GLOBAL DIARIA.

¹ Almanza Salgado, Rafael, et. al.; "Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana", Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, No. 543, Septiembre 1992, p. 11 y ss.

La radiación solar se eleva de forma progresiva de enero a marzo, manteniéndose relativamente estable en los meses de marzo a octubre en 17 MJ/m^2 .

Se concluye al término del análisis, que el clima de la ciudad 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 42°C .

Ahora bien, de acuerdo al análisis de los parámetros climáticos, se dispuso realizar el experimento durante los meses de Junio y Julio por ser los meses que se encuentran antes y después del solsticio de verano. El estudio solar se muestra en el siguiente subcapítulo.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA

Como ya se mencionó, el poblado de Villa Ocuiltzapotlán se ubica muy cerca de la capital tabasqueña, a tan sólo 18 Km.

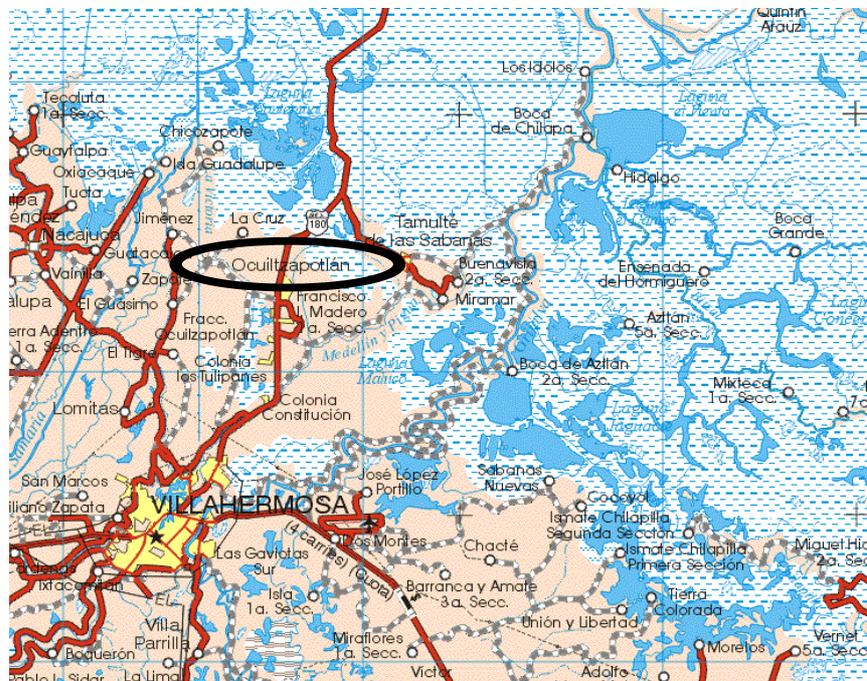


IMAGEN 17. MAPA DE UBICACIÓN VILLA OCUILTZAPOTLÁN.

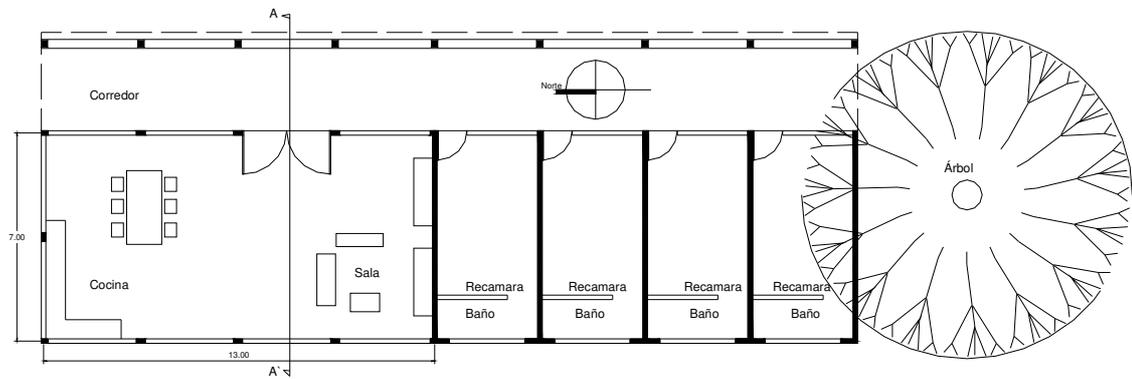


IMAGEN 18. PLANO DE LA VIVIENDA DE ESTUDIO.

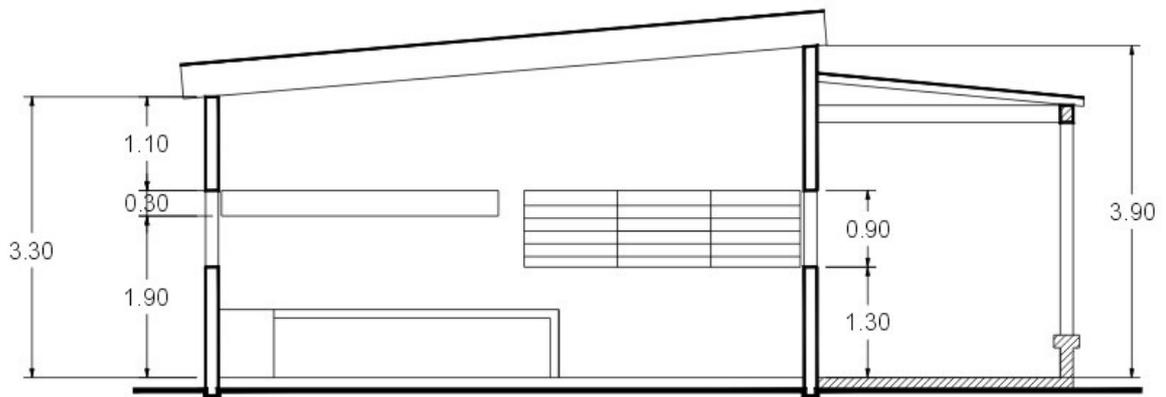


IMAGEN 19. CORTE A-A' DE LA VIVIENDA

La vivienda esta localizada en un medio suburbano, es sencilla como el común de las casas de la zona de estudio, es básicamente rectangular y tiene orientación Oriente-Poniente (Imagen 18).

Los materiales de construcción son básicamente bloc en los muros y lámina estructural de asbesto en la cubierta.

La planta es a largada con una sola fila de habitaciones. La fachada principal se halla orientada al Este.

En la imagen 18 se puede observar el espacio destinado a sala-comedor-cocina, las recámaras con sus respectivos baños y un gran corredor en la fachada Este. Hacia el Norte la fachada esta carente de protección solar, al Este el corredor asegura el control de la incidencia solar; la fachada Sur no se considera en el estudio por encontrarse bajo la sombra de un árbol de copa amplia (Imagen 18), y por último la fachada Oeste, que igual que la Norte carece de protección solar.

La casa tiene una techumbre inclinada, ubicándose la parte más alta en la fachada principal y la parte más baja en la fachada posterior, ésta techumbre se contrapone a la inclinación de la cubierta del corredor (Imagen 19).

Las ventanas se localizan en las fachadas Este, Norte y Oeste. Según el análisis de viento los dominantes vienen del Noreste incidiendo a 45° sobre las ventanas del lado Este, esto indicaría ventilación cruzada², sin embargo debido a la diferencia de altura entre las ventanas y sus dimensiones, esto no ocurre (Imagen 19).

² García Chávez, José Roberto y Fuentes Freixanet, Víctor; "*VIENTO Y ARQUITECTURA*" *EL VIENTO COMO FACTOR DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO*, 2ª. Edición, Editorial TRILLAS, México 1995, pp. 57-61

3.2.1. ANÁLISIS SOLAR

La orientación de la edificación determina los patrones de incidencia solar sobre ella, es por esto que se realiza el siguiente análisis solar de acuerdo con las particularidades de la vivienda, se elaboraron los análisis de las fachadas despejadas siendo éstas la Norte y la Oeste.

La proyección de la carta estereográfica corresponde a la ciudad de Villahermosa, en ella se pueden apreciar los eventos más representativos correspondientes a los equinoccios y solsticios.

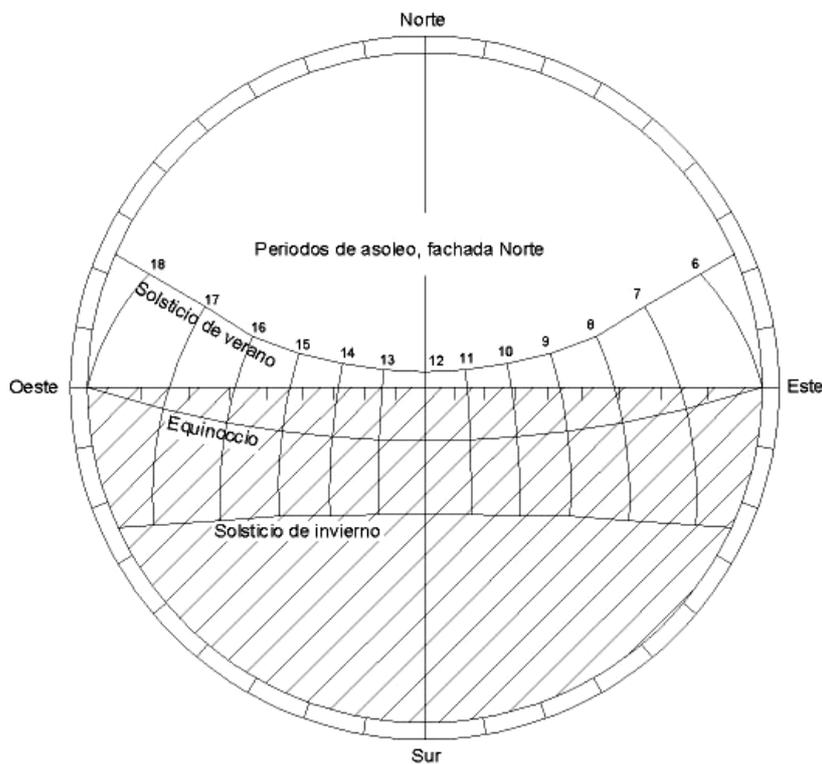


GRÁFICO 10. CARTA ESTEREOGRÁFICA PARA VILLAHERMOSA 17° 59' , LATITUD NORTE (FACHADA NORTE).

El gráfico arriba representa el análisis de la fachada Norte y describe los periodos de asoleo durante el solsticio de verano, iniciando prácticamente desde las 6 hasta las 18 horas. Pero esto solo sucede entre los meses de Junio y Julio. La zona achurada describe las orientaciones y alturas solares, que no inciden sobre la fachada Norte.

Para el caso de la fachada Oeste el análisis corresponde con el siguiente gráfico. En él se observa que la incidencia solar sucede al paso del medio día y prosigue hasta el fin del mismo, a lo largo de todo el año.

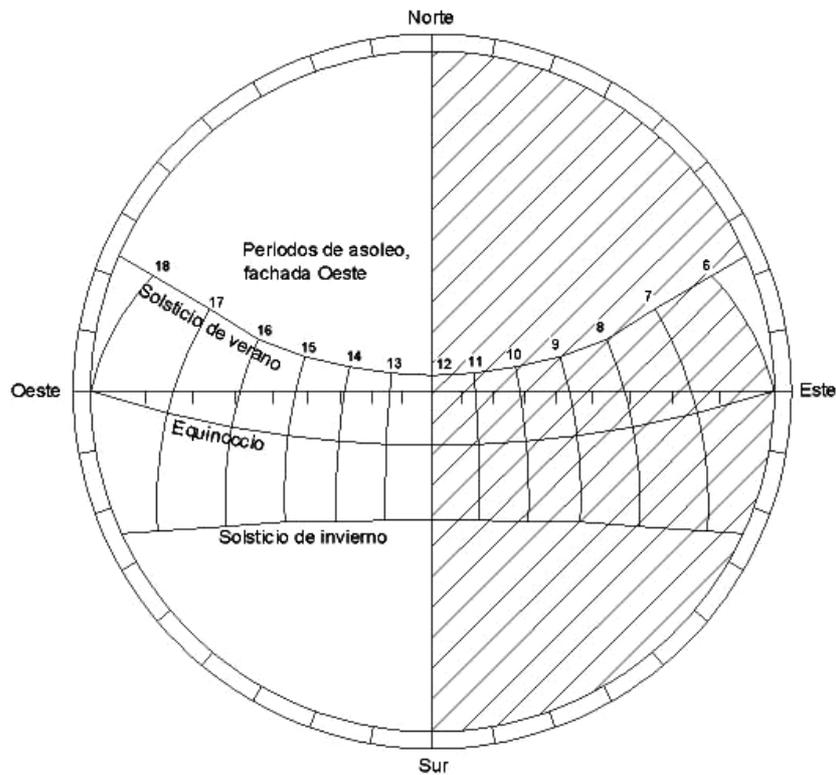


GRÁFICO 11. CARTA ESTEREOGRÁFICA PARA VILLAHERMOSA 17° 59' , LATITUD NORTE (FACHADA OESTE).

Los datos anteriores se sintetizan en la siguiente tabla:

TABLA 5. HORAS DE SOL POR FACHADA DE ACUERDO A LOS EVENTOS DE CAMBIO ESTACIONAL.

FACHADA	PERIODO	HORAS DE SOL POR EVENTO	ANUAL
Norte	Solsticio de verano	12 horas	360 horas
Oeste	Solsticio de verano	6 horas	2190 horas
	Equinoccio	6 horas	
	Solsticio de Invierno	6 horas	

La fachada Norte presenta asoleo de 12 horas durante 2 meses lo que da 360 horas de asoleo anual.

La fachada Oeste ofrece 6 horas de soleamiento durante los 3 eventos que cubren todo el año, por lo que anualmente arroja 2190 horas de sol (6 horas x 365 días).

Estas incidencias aseguran el funcionamiento del dispositivo con esta orientación, durante las horas de mayor temperatura.

· CAPÍTULO 4 ·

DISEÑO Y EVALUACIÓN TEÓRICA DEL DISPOSITIVO

4.1. PROCESO DE DISEÑO

Antes de explicar el proceso de diseño, se hace una remembranza acerca del entorno en que se desarrolló el experimento.

Unas de las características más destacadas del medio, son las altas temperaturas y los altos índices de humedad, los cuales combinados dan como resultado un calor pegajoso. La humedad unida a la temperatura y a la elevada pluviometría son favorables al desarrollo de la vegetación; las plantas que cubren el terreno reducen la radiación reflejada y disminuyen la elevación de la temperatura de la superficie del mismo.

En este lugar existen muy pocas elevaciones, por lo que podría decir que es llano. El viento se mueve a velocidades bajas, pero se mantiene en dos direcciones predominantes, Noreste y Sureste.

Con estas condiciones el único medio para mejorar las condiciones térmicas en el interior de la vivienda es la ventilación.

Por eso, con objeto de alcanzar el confort térmico es necesario hacer circular el aire por las superficies corporales de los ocupantes.

El enfriamiento más efectivo en el ser humano, se produce en la superficie de la piel, por lo tanto el movimiento del aire tiene un papel muy importante dentro del proceso de enfriamiento.

*Las capas de aire más cercanas a la piel van adquiriendo temperaturas cada vez más próximas a la de la misma piel. A la vez, la humidificación sudorípara produce en esas capas una humedad relativa que se va aproximando al 100%. Si esas capas de aire permanecieran inmóviles, "adheridas" a la piel, se anularían por completo las posibilidades de termorregulación por evaporación cutánea, y por conducción-convección atmosférica; de ahí la importancia que tiene la tasa de renovación de esas capas de aire muy próximas a la piel y la probada efectividad de la evaporación a efectos de confort térmico.*¹

En climas cálido húmedos la ventilación constituye el recurso más importante para lograr el confort térmico. Al promover la ventilación natural y disminuir el uso de los sistemas de acondicionamiento mecánicos se reducen los costos de operación por consumo eléctrico e instalación y mantenimiento de sistemas mecánicos.

Para ello se realizó el siguiente cuadro de análisis respecto al enfriamiento por ventilación natural y mecánica.

Como advertimos la ventilación constituye la principal estrategia de diseño en este tipo de clima², y en este caso se necesita en gran parte del año pero no siempre es posible la ventilación natural, por tanto es necesario ventilar y enfriar por medios artificiales convencionales; sin embargo esta no es la única solución. Por eso, es importante conocer los datos del lugar en estudio para elaborar una adecuada estrategia de diseño pasivo.

¹ Fernando Tudela; *Ecodiseño*; Universidad Autónoma Metropolitana; México, 1982; p. 31.

² Fernando Tudela; *Ecodiseño*; Universidad Autónoma Metropolitana; México, 1982; p. 145.

La casa en la que se aplicará el dispositivo solar se encuentra situada a campo abierto por lo que el sol y el viento inciden plenamente en ella. La fachadas que presenta obstrucción solar son la Este y la Sur.

Para introducirnos en la aplicación de este sistema experimental, se recordará que este sistema puede ser usado en verano para proveer de ventilación. Consta de dos aberturas, una inferior y otra superior. Sin embargo para nuestro propósito que es el de enfriar, se prescinde de la abertura superior ya que esta es utilizada para calentar el interior en invierno. El aire calentado por el sol en el espacio colector, fuerza su camino hacia el exterior arrastrando el aire de los espacios interiores hacia fuera (a través de la abertura inferior), remplazándolo por aire fresco del exterior, preferentemente de un área sombreada o más fría.

Desglosando los elementos del sistema anterior en su modalidad de enfriamiento se tiene:

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

Para construir el muro solar se necesita instalar un colector del tipo chimenea solar en la pared. La colocación del sistema, se dispuso en relación a la habitación que mayor cantidad de paredes recibe sol (ver imagen 10, Cap. 3).

TABLA 6. RELACIÓN DE FACHADAS SOLEADAS POR HABITACIÓN.

HABITACIÓN	FACHADAS SOLEADAS
Sala-Comedor-Cocina	Norte y Oeste
Recámara 1	Oeste
Recámara 2	Oeste
Recámara 3	Oeste
Recámara 4	Oeste

Resultando que la habitación que más fachadas soleadas tiene es la que funge como sala-comedor-cocina, siendo estas la Norte y Oeste; debido a que la fachada Este se halla protegida por un tejado que impide la radiación matutina y la lluvia.

Continuando con el tema de soleamiento regresemos a los datos de la Casa Montlouis en Francia; su muro Trombe recibe en solsticio de invierno 7kWh/m²/día y 1.7kWh/m²/día en el solsticio de verano. Ahora bien, según los datos proporcionados por el cuaderno "Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana" del Instituto de Ingeniería de la UNAM, de Marzo a Octubre se tiene un promedio de irradiación global diaria igual a 17MJ/m².

Por lo tanto, realizando la conversión de unidades tenemos³:

$$17\text{MJ}/\text{m}^2/\text{día} = 17\,000\,000\text{ J}/\text{m}^2/\text{día}$$

$$17\,000\,000\text{ J}/\text{m}^2/\text{día} \div 3600\text{s} = 4722.22\text{ Wh}/\text{m}^2/\text{día}$$

$$4722.22\text{ Wh}/\text{m}^2/\text{día} \div 1000 = \underline{4.722\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{día}}$$

³ Almanza Salgado, Rafael, et. al.; "Actualización de los Mapas de Irradiación Global Solar en la República Mexicana", Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, No. 543, Septiembre 1992, p. 30

Cotejando $4.722 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ contra $1.7 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ podemos concluir que la exposición del muro a los rayos del sol son indicativos de un buen desempeño.

Como ya se mencionó, la propuesta para el dispositivo solar se encuentra basada en el muro Solar o Trombe, en su fase diseñada para verano. La variación del muro solar consistió en una unidad colectora de energía, que no tiene almacenamiento de calor en la pared (como en el interior del muro Trombe) lo que evita el sobre calentamiento en el interior de la vivienda.

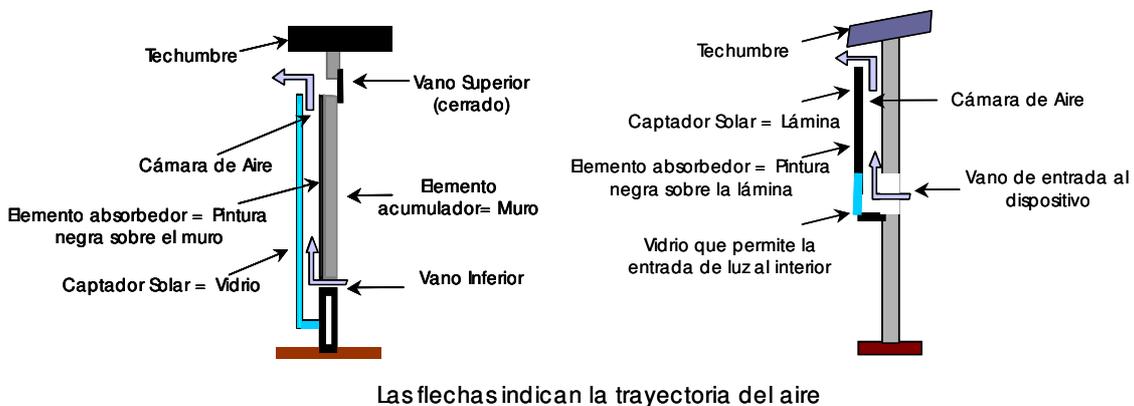


IMAGEN 20. COMPARATIVA ENTRE EL MURO TROMBE Y EL DISPOSITIVO PROPUESTO.

En el caso del Trombe, el vidrio (material transparente) funciona como un elemento captador que permite al almacenamiento en el muro, por medio de absorción a través de la pintura negra. En el caso de la propuesta, el captador de material opaco (lámina metálica) no permite que los rayos solares lo atraviesen y lleguen al muro, evitando con este el calentamiento del mismo. También trabaja como elemento absorbedor al ser pintado de negro mate, con el propósito de tener una mejor recepción e la radiación solar y evitar su reflexión, teniendo de esta manera un mejor aprovechamiento de la misma (Imagen 2). Hasta aquí el material más adecuado para fabricar el elemento captador, fue el aluminio por su conductividad térmica de $210.74 \text{ W/m}^2\text{h}^\circ\text{K}$.

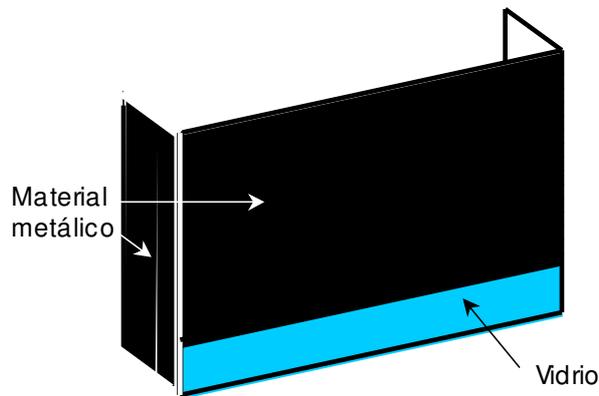


IMAGEN 21. DISPOSITIVO PROPUESTO.

El supuesto consistió en que el aire interior de la vivienda se extraerá a causa de la diferencia de temperatura entre la cámara de aire formada entre el dispositivo y el muro y la vivienda. El aire caliente del espacio habitable se introduce a la cámara por el orificio de entrada del sistema, este aire se eleva y sale por el extremo superior del dispositivo hacia el exterior. En este dispositivo se prescinde del orificio superior del muro usado en el Trombe, pues no se necesita de la penetración del aire calentado dentro de la cámara, a la habitación (Imagen 20).

Durante el proceso de diseño se observó que si el dispositivo se construía totalmente de un material metálico el espacio se oscurecería, por lo que fue necesario incluir en su parte inferior un material transparente que no evitara el paso de luz a través de las ventanas, resultando el vidrio como la mejor opción.

4.2. CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE MODELOS A ESCALA

Con el fin de verificar de modo teórico la propuesta, se realizaron ensayos recreando a escala la vivienda y el dispositivo. Para lo cual se construyeron dos modelos, el primero se elaboró con el objeto de apreciar de manera hipotética los

fenómenos físicos que implica el sistema, el segundo con el propósito de analizar el efecto producido al interior de la vivienda en cuestión.

Los aportes de calor al interior de la edificación se dan a través de la radiación de los materiales, los aparatos eléctricos y los usuarios, este calor es transmitido a las moléculas del aire, para fines de esta investigación la situación resultante de este proceso se simuló a través de la generación de humo. Estos comportamientos difícilmente podrían ser observados a escala real.

PRIMER MODELO

En el primer modelo se utilizaron los siguientes materiales:

- Vidrio
- Cartón
- Placas de aluminio
- Foco reflector de 75 w (luz directa)
- Trazador de humo (vara de incienso)

El modelo se elaboró a escala 1:20 representando un espacio que tiene 5 m de ancho por 3 m de largo, la cubierta se colocó de manera inclinada, teniendo en su parte más alta 4m y en la parte más baja 3m.

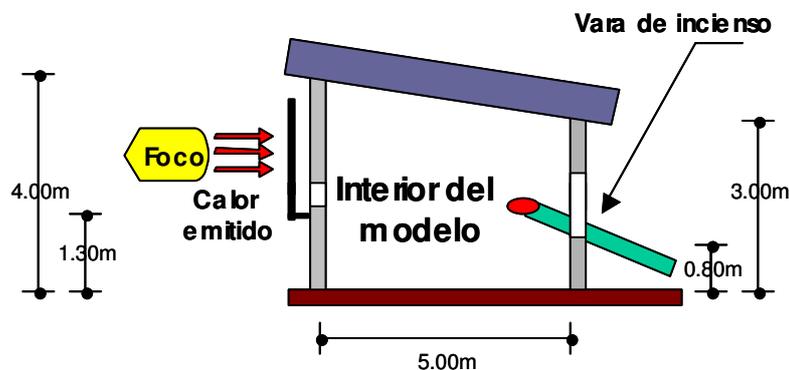


IMAGEN 22. CROQUIS, SECCIÓN DEL PRIMER MODELO.

Una de las dos caras del lado más largo es de vidrio para permitir la observación de los sucesos al interior.

En las caras del lado más corto se hicieron aberturas, en una de ellas se colocó una ventana a la altura de 0.80 m (ver parte derecha de la imagen 1); en la otra se abrieron dos pequeños orificios en dirección longitudinal a una altura de 1.30 m respecto al suelo, de 0.20x0.20m y con una distancia de 1.20 m entre ellos. En esta misma cara en la parte exterior, se colocó de manera centrada una placa de aluminio de 2.0 x 2.5 m (simulando el dispositivo) a una distancia de 0.15 m respecto de la pared de cartón. El foco (ver parte izquierda de la imagen 1), cuya función fue la de ser la fuente de calor, se situó en posición directa del dispositivo.



IMAGEN 23. EN ESTA IMAGEN SE MUESTRA EL ESCENARIO DE LA PRIMER PRUEBA. SE PUEDE APRECIAR QUE EL HUMO DE LA VARA DE INCIENSO SE ELEVA Y RECORRE LA SUPERFICIE DEL TECHO DE MANERA ASCENDENTE.

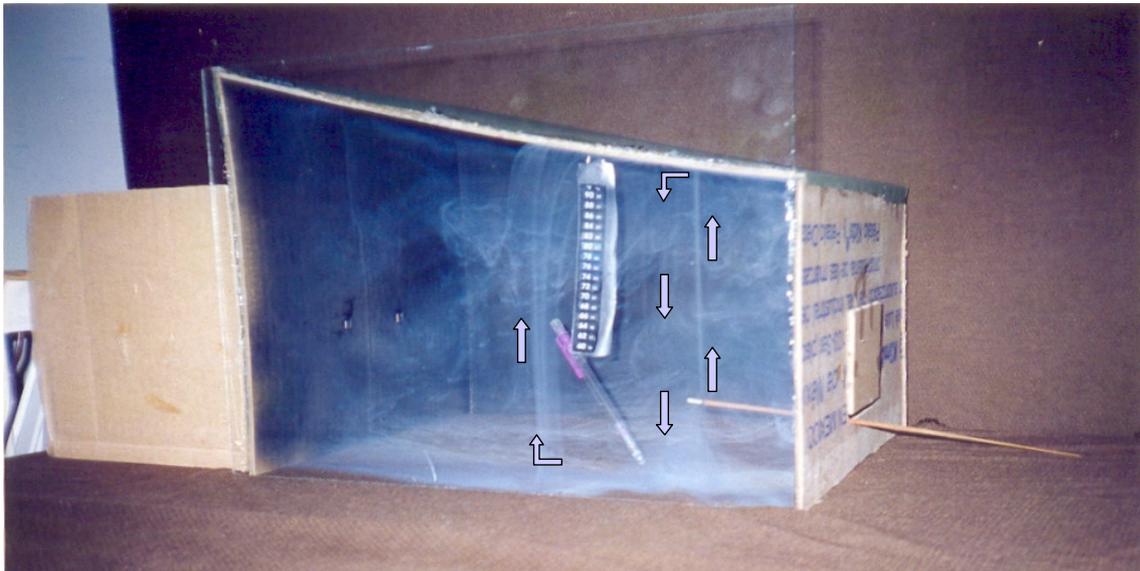


IMAGEN 24. ESTA FOTOGRAFÍA MUESTRA COMO EL HUMO VIAJA DEL EXTREMO DE LA VARITA DE INCIENSO HACIA ARRIBA PARA POSTERIORMENTE BAJAR Y ELEVARSE NUEVAMENTE.



IMAGEN 25. EN ESTA IMAGEN SE PUEDE DISTINGUIR COMO EL HUMO ES ATRAÍDO POR EL CALOR DEL ALUMINIO A TRAVÉS DE LOS ORIFICIOS.

OBSERVACIONES:

- La experimentación se llevó a cabo en dos etapas, y durante ambas el dispositivo se mantuvo sin pintar.
- Durante la primera etapa del experimento las ventanas siempre se mantuvo cerrada.
- La varita de incienso fue colocada al interior del modelo a través de la ventana, y se advirtió que el humo desprendido fluye inmediatamente hacia arriba, esto como resultado de la estratificación del aire (Imagen 2 y 3).
- Al irse calentando la placa de aluminio con el foco reflector, el humo empieza a ser succionado hacia los vanos (Imagen 4) y a salir en la parte alta de la placa de aluminio, observándose en este trayectoria el efecto convectivo. Sin embargo el movimiento del aire es lento.
- Se percibió también que al retirar o acercar el foco, el flujo de salida disminuye o aumenta respectivamente, lo que significa que al construir este sistema de manera real el funcionamiento dependerá de la intensidad de la radiación solar.
- En la segunda etapa del experimento la ventana permanece abierta.
- Cuando la ventana es abierta el humo se dirige en dos sentidos, hacia los vanos del dispositivo y hacia la ventana misma, debido a la presión ejercida por el aire interior del modelo (imagen 4). En dirección de la ventana el flujo es mayor debido a la magnitud de su área.

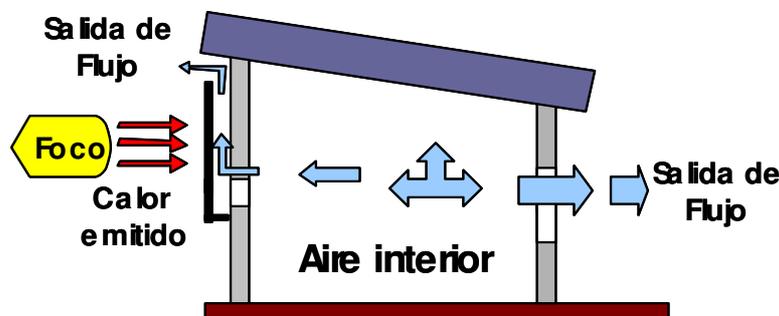


IMAGEN 26. CROQUIS EN EL QUE SE OBSERVA LA TRAYECTORIA DEL HUMO CUANDO LA VENTANA ES ABIERTA.

- Si se provoca viento en dirección perpendicular a la ventana, el humo empieza a salir con mayor fluidez a través del sistema (imagen 5).

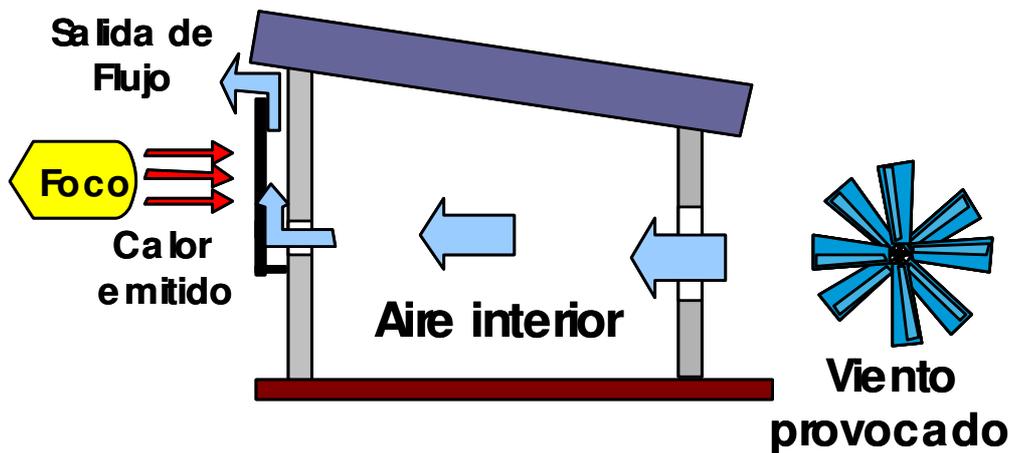


IMAGEN 27. CROQUIS QUE EXHIBE LA FLUIDEZ CON QUE SALE EL AIRE CUANDO ES COLOCADO UN VENTILADOR.

En este primer modelo se observó que a través de la convección del aire, el sistema logra evacuar el humo introducido al interior, sin embargo debido a que los vanos de entrada del dispositivo eran demasiado pequeños esta evacuación era bastante lenta, por lo que en lo sucesivo estos serán de mayor tamaño (imagen 6).

SEGUNDO MODELO

MATERIALES:

- Vidrio
- Cartón corrugado
- Placas de aluminio
- Foco reflector de 75 w (luz directa)
- Trazador de humo (vara de incienso)

Este modelo se hizo a escala 1:20 del espacio real, teniendo 7m de ancho por 13m de largo conforme a las dimensiones del lugar que se desempeña como sala-comedor-cocina, la cubierta se colocó de forma inclinada teniendo en su parte más alta 3.9 m y en la más baja 3.3 m.

Al igual que el modelo anterior se colocó vidrio en una de las caras (lado más corto) agregándose además vidrio en el área del techo, para una mejor perspectiva de los eventos en el interior.

De acuerdo con las especificaciones del espacio designado para la investigación, la fachada Oeste que es una de las caras del lado largo de la maqueta, tiene 4 ventanas (colocadas de manera longitudinal) de 3m X 0.30m a una altura de 1.90m en relación al suelo. La construcción de este modelo consideró solamente dos ventanas las otras se supusieron cerradas; así es que sobre estas ventanas se coloca el dispositivo, que consistió en placas de aluminio de 3.30 X 1.3m a una distancia de 0.10m respecto del cartón (ver imagen 28, 29 y 30).

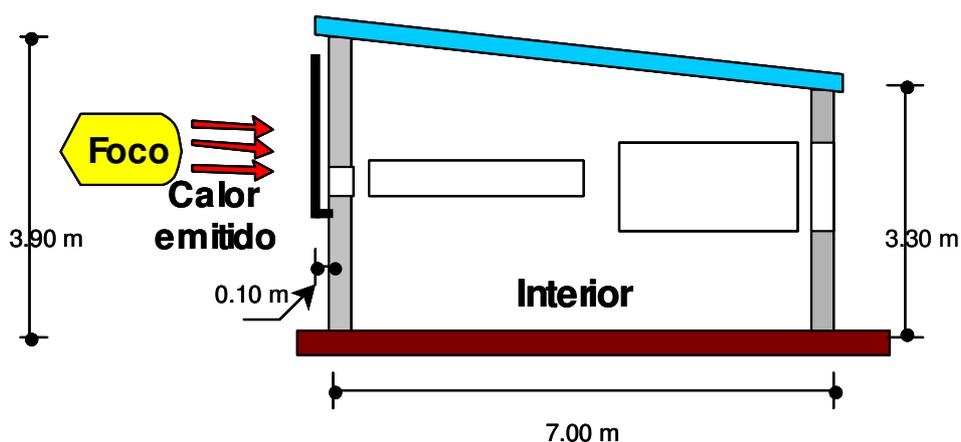


IMAGEN 28. CROQUIS DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MODELO 2.

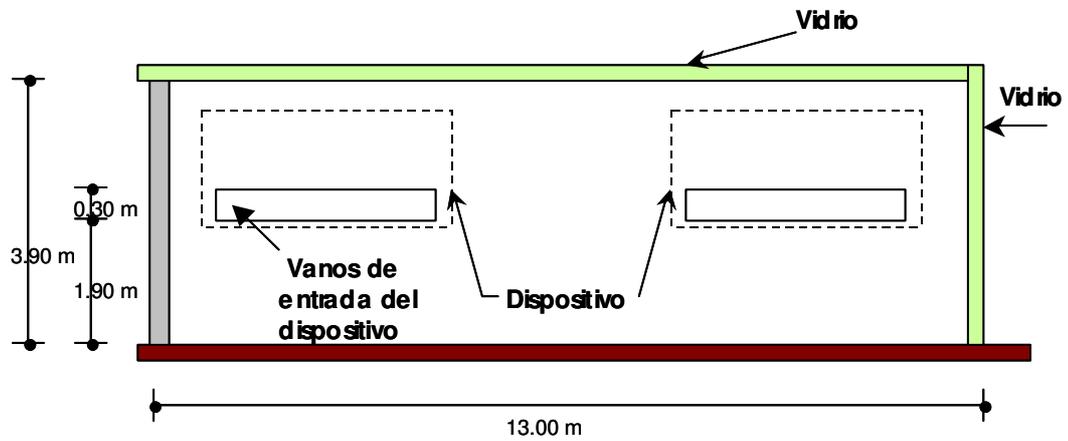


IMAGEN 29. CROQUIS DE LA FACHADA OESTE.

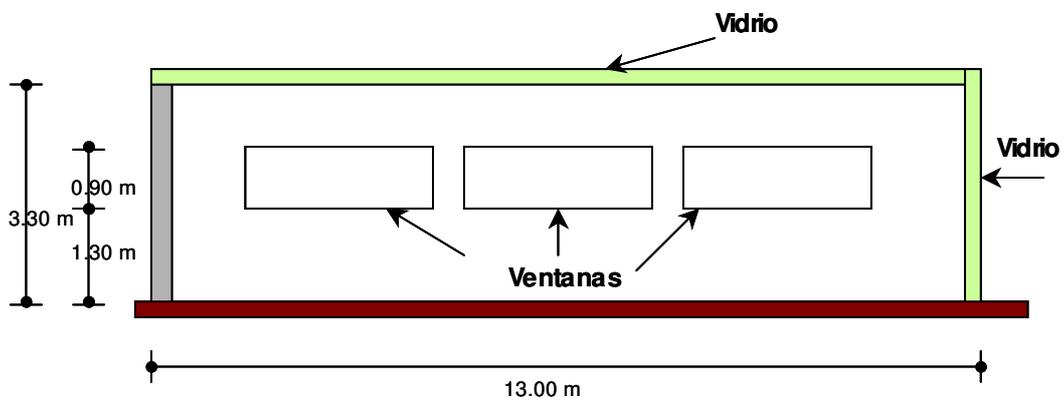


IMAGEN 30. CROQUIS DE LA FACHADA ESTE.

Para realizar las exploraciones del comportamiento en este modelo, se colocó la vara de incienso al interior de la maqueta.



IMAGEN 31. MIENTRAS LAS VENTANAS ESTUVIERON CERRADAS, EL AIRE INTERIOR ERA EXTRAÍDO CON DIFICULTAD.



IMAGEN 32. LA APERTURA ÚNICAMENTE DE LAS VENTANAS ESTE, FACILITA LA SALIDA DEL AIRE INTERIOR, PUES CONTRIBUYE A IMPULSARLO CONTRA LOS COLECTORES.



IMAGEN 33. LA APERTURA DE LAS VENTANAS NORTE Y ESTE PROVOCA UN ENCUENTRO DE VENTILACIÓN, POR LO QUE EL HUMO ADQUIERE UN MAYOR MOVIMIENTO Y SU EVACUACIÓN RESULTA CON MÁS VELOCIDAD QUE LOS CASOS ANTERIORES.



IMAGEN 34. AL ABRIR TODAS LAS VENTANAS EL HUMO SE DISIPA MÁS RÁPIDAMENTE.

OBSERVACIONES:

Durante estas pruebas, ambos dispositivos fueron pintados de color negro mate.

- Cuando todas las ventanas se mantienen cerradas, el flujo es extraído por el sistema, sin embargo no es rápidamente desalojado, esto puede ser debido al gran volumen de aire (imagen 10).
- Al cerrar las ventanas Norte y abrir las del lado Este, el humo es evacuado con mayor rapidez. El aire es expulsado a través del sistema y de la ventana abierta (imagen 11).
- Si las ventanas de la fachada Este son cerradas y las de la fachada Norte son abiertas, el aire entra y el humo es arrastrado hacia la pared opuesta. Debido al ingreso del aire, se crea un movimiento del humo al interior y es evacuado con menor velocidad.
- Se observó también que al abrir todas las ventanas, el humo se desalojaba mucho más rápidamente que en las condiciones anteriores, lo cual indica que la apertura de ellas aporta ayuda al sistema (imagen 12 y 13).
- Al comparar los resultados de los dos modelos, se concluye que el dispositivo tiene una mejor actuación al ser pintado de negro. Hubo una mejor disipación del humo.

4.3. RESULTADOS

Conveniente el aprovechamiento de los mecanismos naturales para bajar la temperatura del aire interior.

La columna de humo en combinación con el espacio cerrado, manifiestan el escaso movimiento de aire interior y el bajo índice de evacuación de la masa de aire caliente en el interior. Con lo cual se reafirma la necesidad de ventilar el espacio.

Igualmente se desprende la necesidad de buscar la incidencia solar sobre el sistema el mayor tiempo posible y de cómo la combinación de entradas de aire en extremos opuestos al sistema propuesto, resulta fundamental para lograr el objetivo deseado.

Aplicación de color oscuro en el colector, para provocar altas temperaturas en la cámara de aire.

De las observaciones realizadas en los modelos, se desprende la ubicación del sistema propuesto y las modificaciones esenciales para su aplicación sobre la construcción.

• CAPÍTULO 5 •

CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO

Fundado en los datos del capítulo anterior, se define como material de construcción base para el dispositivo, la lámina de aluminio como el material metálico de mejor conductividad térmica. Sin embargo al momento de realizar el presupuesto resultó demasiado caro, por lo que se opta por la lámina plana galvanizada.

Al comparar los valores de conductividad térmica, tenemos:

Lámina plana galvanizada $52.3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Lámina de aluminio $210.74 \text{ W/m}^2\text{K}$

De donde se deduce que la lámina galvanizada es 4 veces menos conductiva que el aluminio.

A continuación se exhiben los índices de conductividad térmica¹ de los tres materiales que conformarán el dispositivo:

TABLA 7. CONDUCTIVIDAD DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$
Vidrio sencillo 3 mm	0.93
Lámina Galvanizada	52.3
Perfil de Aluminio	210.74

¹ M. En Arq. Antonio B. Kuri; Coeficientes de conductividad térmica de diversos materiales"; Notas del curso de aire acondicionado; Facultad de Arquitectura; División de Estudios de Posgrado; UNAM: 1997.

Las dimensiones del dispositivo son 3.20m de largo, por 1.1m de alto, y 0.15m de profundidad.

Para manufacturar el dispositivo se requirió de:

Materiales:

- Lámina galvanizada
- Perfiles de aluminio
- Vidrio de 3 ml.
- Remaches
- Silicón
- Esmalte negro mate
- Aguarrás
- Tramos de varilla de 3/8"

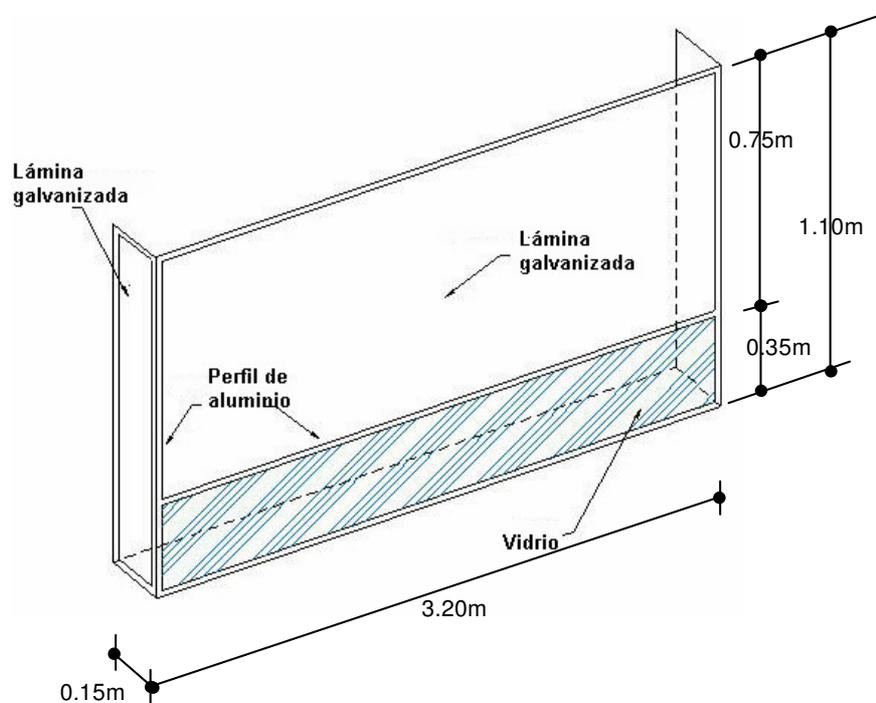


IMAGEN 35. CROQUIS DEL DISPOSITIVO A CONSTRUIR.

Las cantidades totales de cada material para cada dispositivo, son:

TABLA 8. MATERIALES EMPLEADOS EN EL DISPOSITIVO.

MATERIAL	CANTIDAD	APLICACIÓN
Lámina galvanizada	1 pieza de 0.75X3.20m	En la parte superior del dispositivo y los costados
	2 piezas de 0.15X1.10m	
Perfiles de aluminio	4 tramos de 3.20m	En las aristas del dispositivo
	4 tramos de 1.10m	
	4 tramos de 0.15m	
	3 tramos de 0.35m	Sostenibilidad del vidrio
Vidrio de 3 ml.	4 piezas de 0.35X0.80m	En la parte baja del dispositivo
Remaches	300 piezas	Sujeción de la lámina
Silicón	1 tubo silicón estructural	Adherencia del vidrio con el perfil
Esmalte negro mate	1 litro de esmalte negro mate	En la lámina galvanizada
Tramos de varilla de 3/8"	6 tramos de 0.30m	Fijación del dispositivo en la pared
Aguarrás	1 botella de 1/2 litro	Para diluir el esmalte

Para construir el dispositivo se requirió de:

Herramientas:

- Escuadra metálica
- Taladro
- Prensa
- Remachadora
- Pinzas
- Segueta
- Tijeras para cortar metal

- Brocha

La fabricación de los colectores es casera, primeramente se armó el marco de 3.20X1.10m con los perfiles de aluminio, se cortó la lámina de acuerdo a las dimensiones y se afianzó en la parte superior del marco por medio de remaches cuidando de que no quedarán espacios abiertos (Imagen 36).



IMAGEN 36. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN.

Posteriormente se afianzaron los tramos de aluminio que sujetarán los vidrios en la parte baja y los que forman las caras laterales del dispositivo. A continuación se aseguró la lámina destinada a estas caras.

En la parte inferior se colocaron cuatro piezas de vidrio su número estuvo en función de la seguridad, debido a que no sufrieran estrellamiento o quebraduras en el transporte del dispositivo al sitio de colocación. Estas piezas se adhirieron con

silicón, las cuales quedaron situados a la altura de las ventanas por donde se extraerá el aire (Imagen 38), tienen la función de suministrar luz natural al interior.

Una vez terminados los dispositivos se procedió a su instalación sobre los muros de las fachadas.

De acuerdo con el estudio realizado en capítulos anteriores se genera la siguiente información:

Las fachadas seleccionadas son la Norte y la Oeste. La fachada Norte consta de dos ventanas, una de 0.30X3.00m y otra de 0.90X3.00m. La fachada Oeste consta de cuatro ventanas que tienen 0.30 X 0.30m.

En un principio se pensó ubicar el dispositivo en cada una de las ventanas de dichas fachadas, pero a causa del presupuesto destinado a esta investigación, solo se pudieron elaborar dos de ellos.

Se tomó la decisión de situarlos en la primera ventana partiendo de la esquina formada por las fachadas Norte y Oeste. La habitación que corresponde a este espacio es la utilizada como sala-comedor-cocina.

Para empotrar los dispositivos a la pared, se requirió la perforación de 6 orificios, 3 en la parte baja de la ventana, distribuidos uniformemente. Y otros 3 a una distancia de 1.10m con respecto de los anteriores. Dentro de ellos se insertó la varilla de 3/8", para soportar el peso de todo el material.

Los dispositivos fueron fijados a la pared de las respectivas fachadas de acuerdo al proceso de valorización de su eficacia (tema tratado en el siguiente capítulo). Para lo cual se estipularon tres fases:

1. Colocación del dispositivo Norte sin pintar.
2. Colocación adicional del dispositivo Oeste sin pintar.
3. Pintado de ambos dispositivos.

Los dispositivos son utilizados primeramente sin pintar (Imagen 37), y posteriormente pintados de esmalte (Imagen 38 y 39).



IMAGEN 37. INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO (SIN PINTAR) EN LA FACHADA NORTE.



IMAGEN 38. CRISTAL TRANSPARENTE A LA ALTURA DE LA ENTRADA DE AIRE INTERIOR.



IMAGEN 39. INSTALACIÓN DEL DISPOSITIVO EN LA FACHADA NORTE Y OESTE.

• CAPÍTULO 6 •

EVALUACIÓN FÍSICA DEL DISPOSITIVO

6.1. DISEÑO DEL PROCESO DE EVALUACIÓN

Después de la construcción e instalación de los dispositivos, el proceso de evaluación se planteó de la siguiente manera:

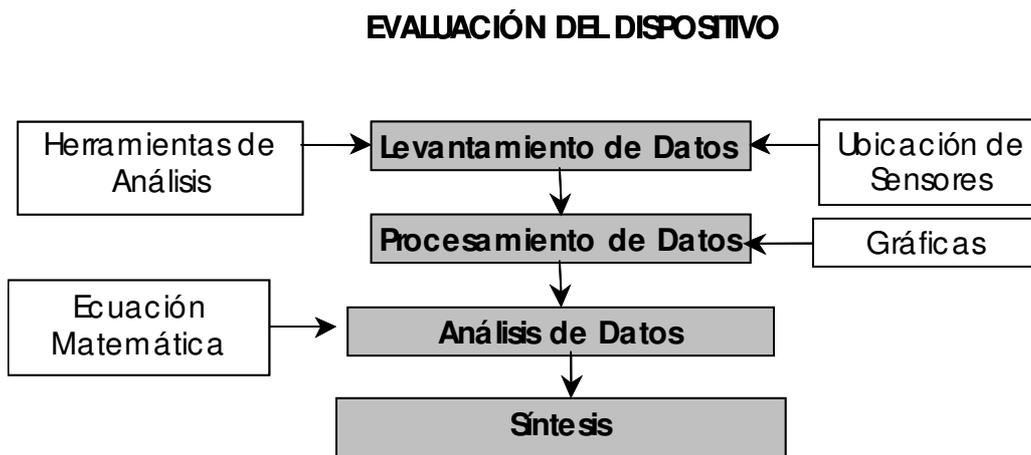


IMAGEN 40. PROCESO DE EVALUACIÓN DEL DISPOSITIVO.

El proceso consistió en el levantamiento de datos de temperatura por medio de un grupo de sensores encargados de registrar el comportamiento en el interior del dispositivo. Este paso constó de la elaboración de tablas para los registros y de la ubicación estratégica de los sensores. Posteriormente las cifras registradas fueron procesadas en Excel, a través de gráficas y trabajadas en un programa estadístico MINITAB. Luego, los registros levantados se utilizan en una ecuación matemática,

para calcular el caudal de ventilación en metros cúbicos que son evacuados del área de estudio. Y como último paso se realizó una síntesis de los acontecimientos.

Ahora bien, para el levantamiento de datos se diseñaron cuatro etapas. La primera etapa consistió en medir la temperatura horaria de la habitación durante los días 18 y 19 del mes de junio sin haber instalado los dispositivos. En la segunda etapa se construyó y colocó uno de los colectores en la fachada Norte, tomándose lecturas de temperatura del 21 al 27 de junio, ubicándose 2 sensores dentro del dispositivo (Imagen 41). Dentro de la tercera etapa se fabricó e instaló el segundo colector en la fachada Oeste obteniéndose lecturas del 14 al 19 de julio, aquí fueron agregados 2 sensores más. En la cuarta y última etapa se pintó de negro la lámina de ambos colectores con el fin de obtener una mayor captación de radiación solar, los días en que se hicieron registros fueron del 23 al 29 de julio.

TABLA 9. LEVANTAMIENTO DE DATOS

ETAPA	PERIODOS	EVENTOS
Primera	18 y 19 de Junio	Habitaciones sin dispositivo
Segunda	21 al 27 de Junio	Dispositivo sobre fachada Norte
Tercera	14 al 19 de Julio	Dispositivo sobre fachada Norte y Oeste
Cuarta	23 al 29 de Julio	Dispositivos pintados de negro, sobre fachada Norte y Oeste

De acuerdo al nivel de etapas en el levantamiento de datos:

- Para la primera se emplearon cinco sensores, en la recámara, cocina, ventana oeste del comedor y exterior de la vivienda, con el objeto de explorar el área de estudio.
- En la segunda etapa sólo se emplearon tres sensores después de colocarse el dispositivo Norte.

- Finalmente para la tercera y cuarta se agregaron dos más cuando es colocado el dispositivo Oeste.

Dando un total de cinco sensores en todo el proceso.

La disposición de sensores en el dispositivo se determinó en base a su funcionamiento (Imagen 41), por lo que fueron empleados dos en su interior, uno en la abertura de entrada y otro en la salida, esto con el fin de obtener datos que manifiesten la diferencia de temperatura entre la parte baja y alta del mismo. Además fue colocado un sensor mas en el exterior para obtener datos de referencia ambiental.

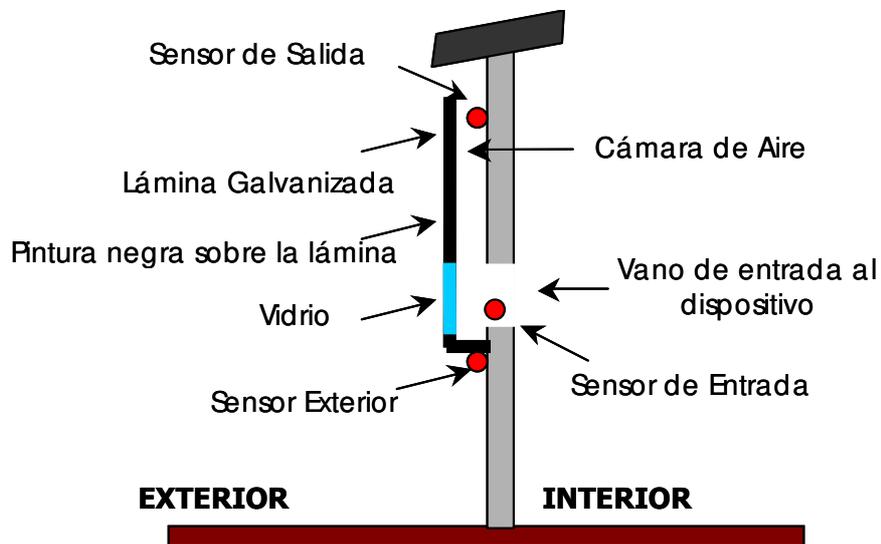


IMAGEN 41. CROQUIS DE UBICACIÓN DE SENSORES.



IMAGEN 42. EQUIPO DE REGISTRO.

El levantamiento de datos se realizó con equipo consistente en una serie de sensores (termopares tipo J) y un equipo transductor digital, el cual no tiene capacidad de almacenamiento de información, por lo cual fue necesario permanecer en el sitio y llevar el registro de forma manual.

DESCRIPCIÓN:

El equipo usado para las mediciones está compuesto por un indicador, una llave selectora, y un conjunto de sensores. El indicador es una caja plástica que tiene una pantalla en una de sus caras, la cual muestra la lectura de la temperatura en grados centígrados; el indicador esta conectado a la llave selectora que es otra caja, que posee en una de sus caras una perilla graduada del 0 al 10, esta graduación indica el número de sensor que estamos evaluando. Los sensores son cables instalados en la parte posterior de la llave selectora, uno de sus extremos es conectado a la caja y el otro contiene una punta metálica sensible a la temperatura. El equipo es alimentado por corriente alterna.

6.2. LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Así los registros de los periodos observados se presentan en las siguientes tablas y gráficos más representativos.

TABLA 10. TEMPERATURA DE LOS ESPACIOS ANTES DE INSTALAR EL DISPOSITIVO (°C), 18 DE JUNIO

HORA	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
RECAMARA	28.0	29.0	29.0	30.0	30.0	35.0	38.0	38.0	36.0	38.5	37.0	37.0
COCINA	29.0	30.0	31.0	33.0	35.0	39.5	40.0	40.0	37.0	39.0	37.0	37.0
VENTANA OESTE	29.0	34.0	34.0	33.0	34.0	38.0	39.0	39.0	37.0	41.0	38.0	37.0
EXTERIOR VIVIENDA	30.5	31.0	33.5	34.5	35.0	36	35.5	36.5	36.0	35.0	34.5	32.5

GRAFICO 12. COMPORTAMIENTO DE LOS ESPACIOS QUE CONFORMAN LA VIVIENDA, 18 DE JUNIO.

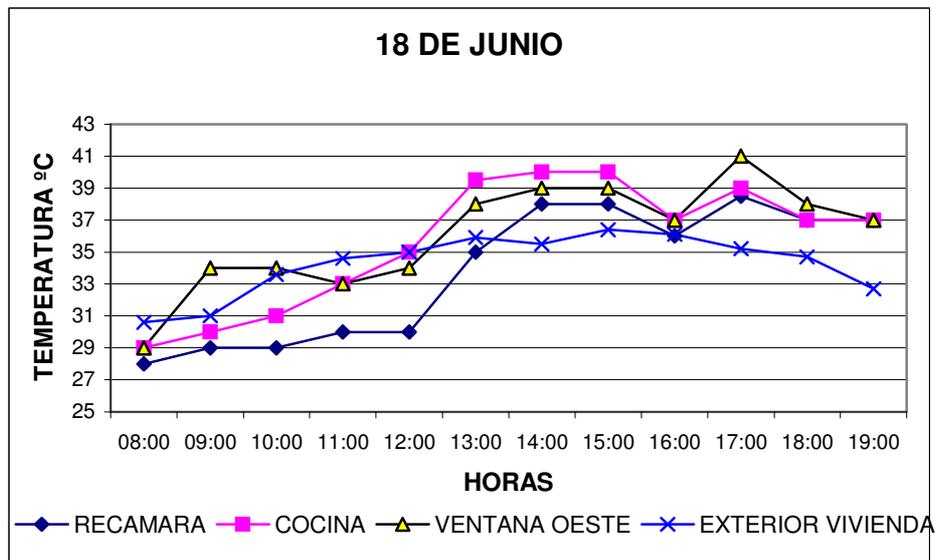
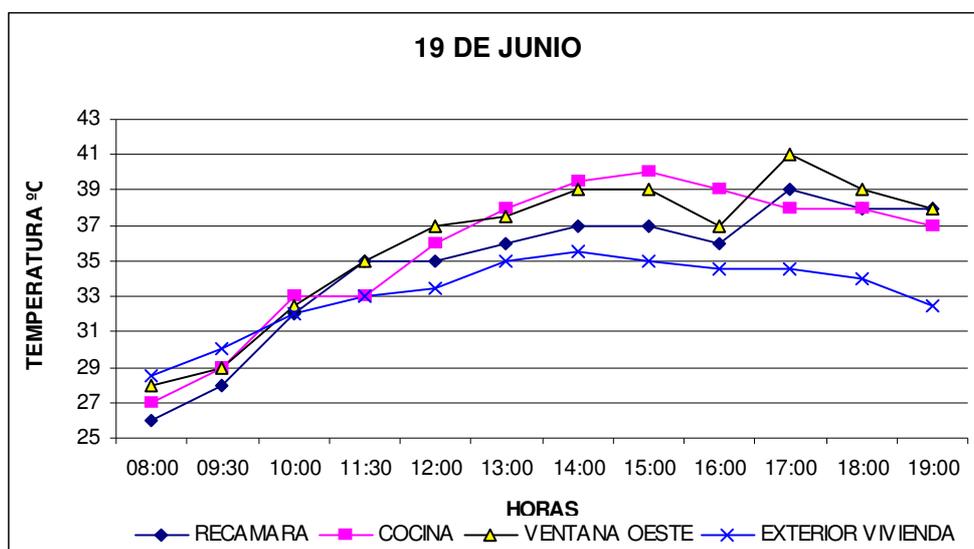


TABLA 11. TEMPERATURA DE LOS ESPACIOS ANTES DE INSTALAR EL DISPOSITIVO (°C), 19 DE JUNIO

HORA	08:00	09:30	10:00	11:30	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
RECAMARA	26.0	28.0	32.0	35.0	35.0	36.0	37.0	37.0	36.0	39.0	38.0	38.0
COCINA	27.0	29.0	33.0	33.0	36.0	38.0	39.5	40.0	39.0	38.0	38.0	37.0
VENTANA OESTE	28.0	29.0	32.5	35.0	37.0	37.5	39.0	39.0	37.0	41.0	39.0	38.0
EXTERIOR VIVIENDA	28.5	30.0	32.0	33.0	33.5	35.0	35.5	35.0	34.5	34.5	34.0	32.5

GRAFICO 13. COMPORTAMIENTO DE LOS ESPACIOS QUE CONFORMAN LA VIVIENDA, 19 DE JUNIO.



Estas gráficas corresponden a las lecturas hechas antes de instalar el sistema, se observó que la temperatura exterior va casi siempre por debajo de la interior, lo que significa que es mas confortable estar fuera que adentro. También se percibe que la temperatura de la sala va por encima del registro correspondiente al de la recámara; esto debido a que el árbol ubicado en la fachada Sur proyecta sombra sobre la recámara.

En general ambas gráficas muestran comportamientos similares, a partir de las 12:00 horas las temperatura aumenta.

TABLA 12. DISPOSITIVO NORTE INSTALADO 23 DE JUNIO, DATOS (°C).

HORA	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
SALIDA DEL DISPOSITIVO	26.0	27.0	28.0	29.0	29.0	31.0	31.0	29.0	32.0	30.0	30.0	30.0
ENTRADA DEL DISPOSIT.	26.0	28.0	29.0	30.0	30.0	33.0	33.0	32.0	33.0	33.0	32.0	31.0
EXTERIOR VIVIENDA	26.0	27.0	28.0	29.0	29.3	34.4	34.5	34.1	32.6	31.4	30.7	30.4

GRAFICO 14. COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO NORTE, 23 DE JUNIO.

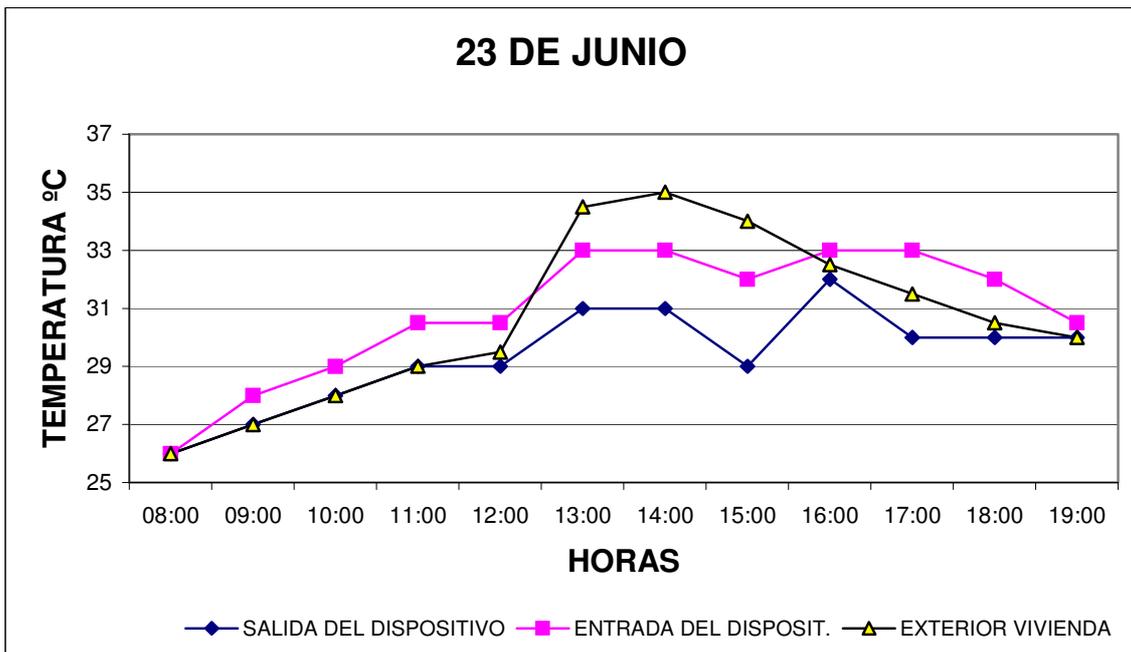
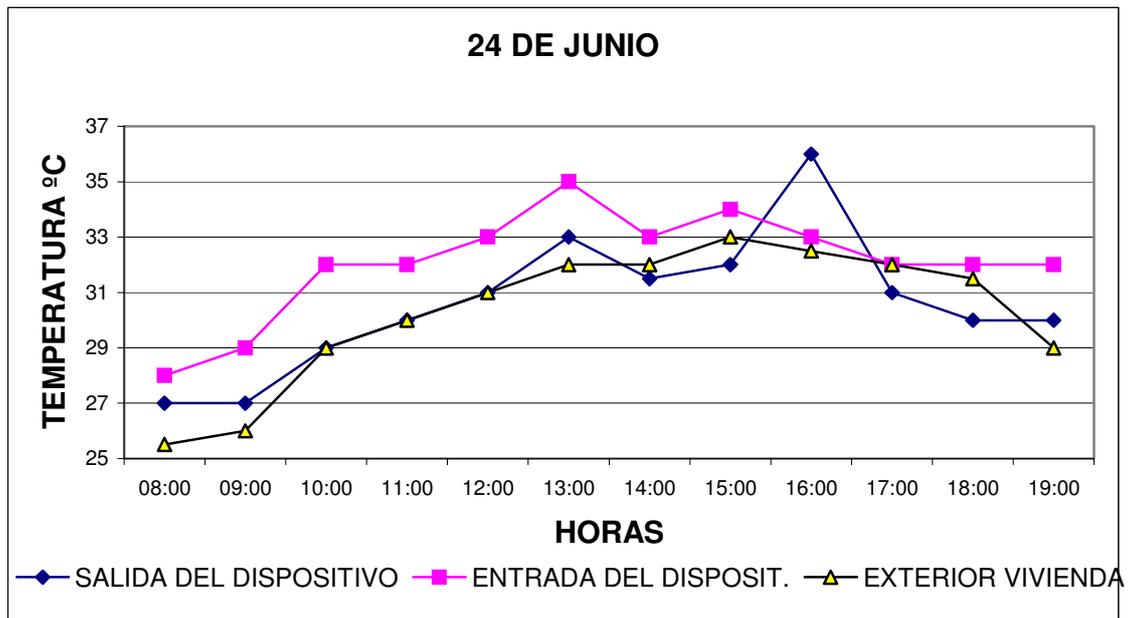


TABLA 13. DISPOSITIVO NORTE INSTALADO 24 DE JUNIO, DATOS (°C).

HORA	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
SALIDA DEL DISPOSITIVO	27.0	27.0	29.0	30.0	31.0	33.0	31.5	32.0	36.0	31.0	30.0	30.0
ENTRADA DEL DISPOSIT.	28.0	29.0	32.0	32.0	33.0	35.0	33.0	34.0	33.0	32.0	32.0	32.0
EXTERIOR VIVIENDA	25.5	26.0	29.0	30.0	31.0	32.0	32.0	33.0	32.5	32.0	31.5	29.0

GRAFICO 15. COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO NORTE, 24 DE JUNIO.



Los registros del 23 y 24 de Junio corresponden al establecimiento del colector Norte. En términos generales se aprecia que los colectores obedecen al mismo patrón de curvas. Justamente a las 13:00 y 16:00 horas se presentó, en ambas gráficas, un alza de la temperatura en la salida del dispositivo.

TABLA 14. DISPOSITIVO NORTE Y OESTE INSTALADOS 14 DE JULIO, DATOS (°C).

HORA	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
SALIDA DEL DISPOS. N	31.0	32.0	33.0	32.0	31.0	34.0	33.0	35.0	35.5	43.0	42.0	32.0
ENTRADA DEL DISPOS. N	35.0	35.0	37.0	36.0	37.5	38.0	38.0	37.0	37.0	38.0	37.0	33.0
EXTERIOR VIVIENDA	24.0	28.0	30.0	31.5	31.0	32.5	32.5	33.0	32.0	31.5	29.0	28.0
SALIDA DEL DISPOSIT. O	28.0	29.5	31.0	30.0	31.0	33.0	33.0	35.0	36.0	39.0	38.0	36.0
ENTRADA DEL DISPOS. O	30.0	31.0	32.0	32.0	33.0	35.0	37.0	40.0	42.0	51.0	49.0	37.0

GRAFICO 16. COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO NORTE Y OESTE INSTALADOS, 14 DE JULIO.

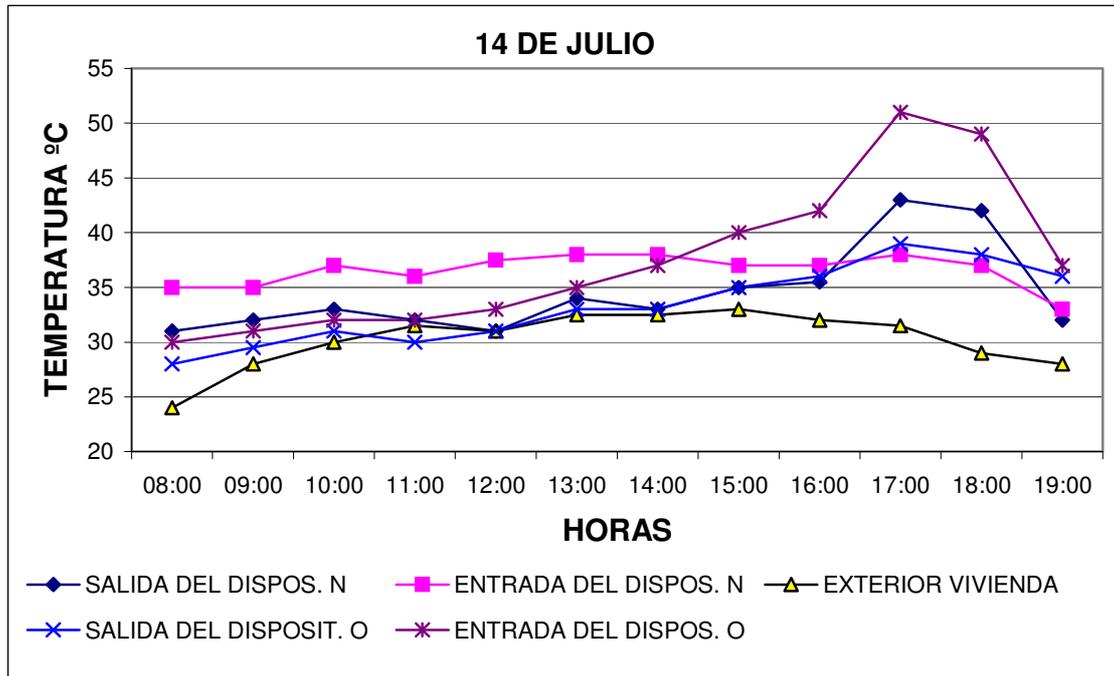
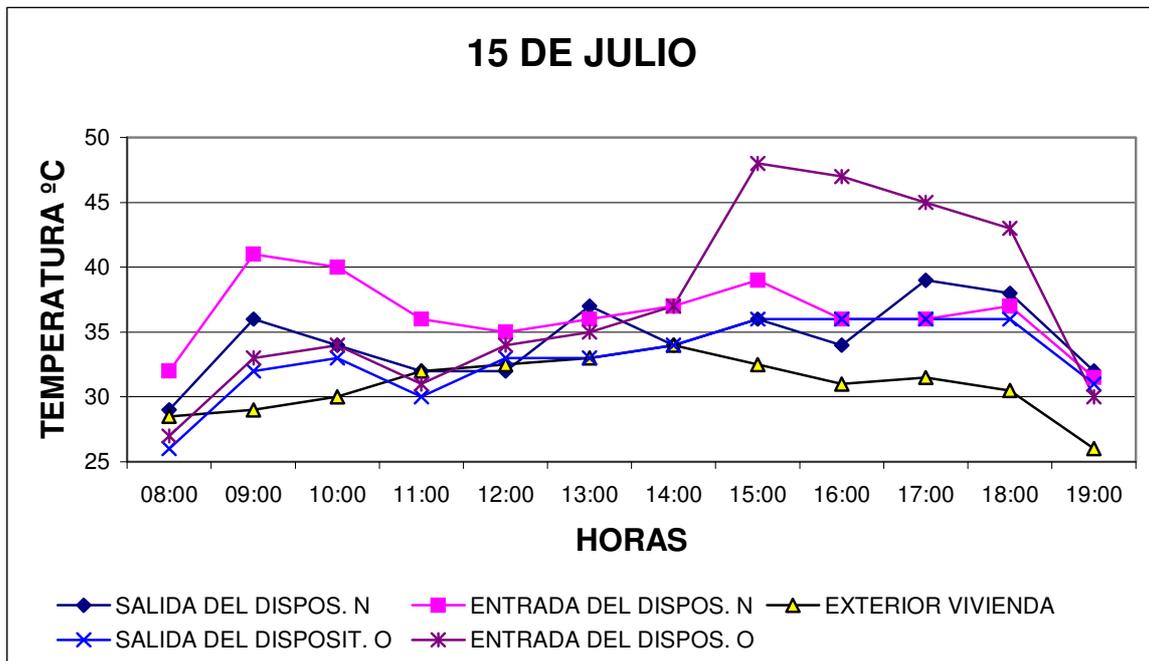


TABLA 15. DISPOSITIVO NORTE Y OESTE INSTALADOS 15 DE JULIO, DATOS (°C).

HORA	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
SALIDA DEL DISPOS. N	29.0	36.0	34.0	32.0	32.0	37.0	34.0	36.0	34.0	39.0	38.0	32.0
ENTRADA DEL DISPOS. N	32.0	41.0	40.0	36.0	35.0	36.0	37.0	39.0	36.0	36.0	37.0	31.5
EXTERIOR VIVIENDA	28.5	29.0	30.0	32.0	32.5	33.0	34.0	32.5	31.0	31.5	30.5	26.0
SALIDA DEL DISPOSIT. O	26.0	32.0	33.0	30.0	33.0	33.0	34.0	36.0	36.0	36.0	36.0	31.0
ENTRADA DEL DISPOSIT. O	27.0	33.0	34.0	31.0	34.0	35.0	37.0	48.0	47.0	45.0	43.0	30.0

GRAFICO 17. COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO NORTE Y OESTE INSTALADOS, 15 DE JULIO.



Se pueden observar algunos picos en ambas gráficas presentados después de las 3 de la tarde, consecuencia de la radiación solar. También se pudo constatar que las curvas de temperatura entre la entrada y la salida del dispositivo se amplía a partir de las 2 p.m.

TABLA 16. DISPOSITIVO NORTE Y OESTE PINTADOS DE NEGRO 28 DE JULIO, DATOS (°C).

HORA	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
SALIDA DEL DISPOS. N	25.0	25.0	27.0	28.0	30.0	30.0	31.0	31.4	31.0	31.0	31.5	31.0
ENTRADA DEL DISPOS. N	24.0	24.0	28.0	30.0	31.0	32.0	33.0	34.0	33.0	33.0	32.5	31.0
EXTERIOR VIVIENDA	28.0	28.5	31.5	32.5	33.0	34.0	34.5	34.0	32.5	31.5	32.0	31.0
SALIDA DEL DISPOSIT. O	24.0	24.0	26.0	28.0	28.0	29.5	30.5	31.0	31.0	31.5	32.0	31.0
ENTRADA DEL DISPOS. O	25.0	26.0	28.0	29.0	31.0	32.5	34.0	39.0	36.0	37.0	34.0	32.0

GRAFICO 18. COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO NORTE Y OESTE PINTADOS DE NEGRO, 28 DE JULIO

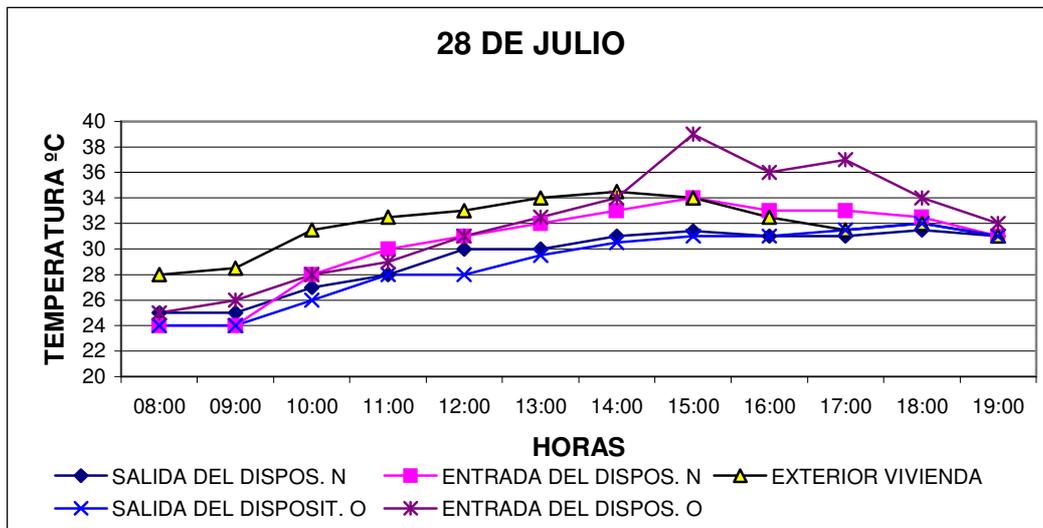
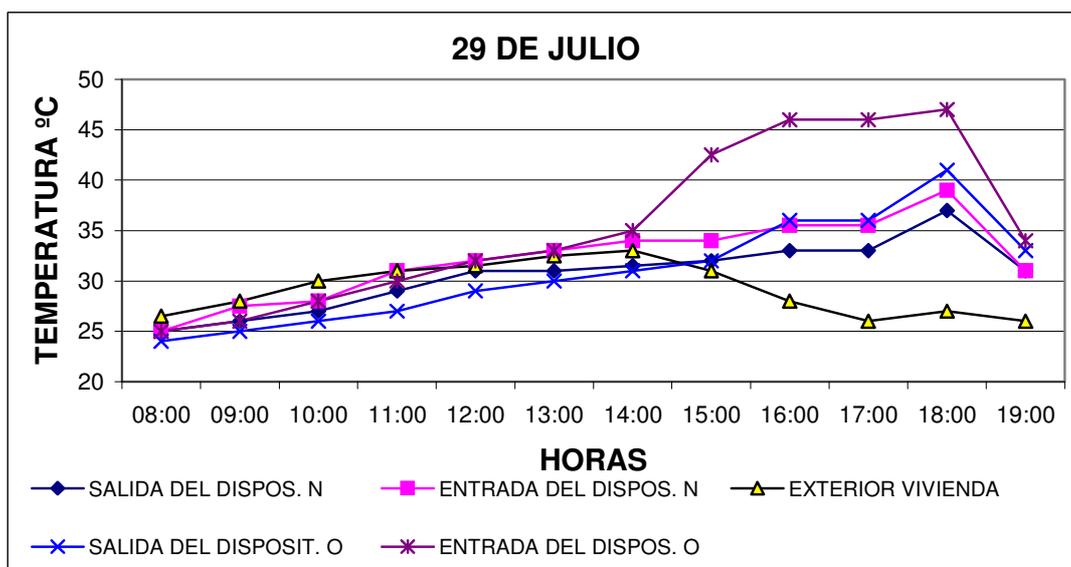


TABLA 17. DISPOSITIVO NORTE Y OESTE PINTADOS DE NEGRO 29 DE JULIO, DATOS (°C).

HORA	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
SALIDA DEL DISPOS. N	25.0	26.0	27.0	29.0	31.0	31.0	31.5	32.0	33.0	33.0	37.0	31.0
ENTRADA DEL DISPOS. N	25.0	27.5	28.0	31.0	32.0	33.0	34.0	34.0	35.5	35.5	39.0	31.0
EXTERIOR VIVIENDA	26.6	27.8	30.2	30.8	31.2	32.4	32.8	31.2	27.6	25.8	27.4	26.0
SALIDA DEL DISPOSIT. O	24.0	25.0	26.0	27.0	29.0	30.0	31.0	32.0	36.0	36.0	41.0	33.0
ENTRADA DEL DISPOS. O	25.0	26.0	28.0	30.0	32.0	33.0	35.0	42.5	46.0	46.0	47.0	34.0

GRAFICO 19. COMPORTAMIENTO DEL DISPOSITIVO NORTE Y OESTE PINTADOS DE NEGRO, 29 DE JULIO



En los últimos gráficos los dispositivos fueron pintados en negro mate. En estos se observa que la temperatura de los Oeste aumenta a partir de las 2 de la tarde y que esta elevación depende de la inclinación de los rayos solares sobre el dispositivo.

Se recurrió también al análisis de datos estadísticos, realizándose una prueba de t-student para una sola muestra con el objetivo de encontrar diferencias entre las temperaturas de entrada y salida del dispositivo.

One-Sample T: difent-sal					
Variable	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI
difent-sal	96	2.272	3.674	0.375	(1.528, 3.016)

Se observó que la diferencia de los datos de entrada y salida variaron de 1.528 a 3.016.

Posteriormente se hizo una prueba de t para dos variables independientes: Diferencia entrada salida vs. Pintura.

Two-Sample T-Test and CI: difent-sal, Pintura					
Two-sample T for difent-sal					
Pintura	N	Mean	StDev	SE Mean	
con	48	2.63	2.71	0.39	
sin	48	1.92	4.44	0.64	
Difference = mu (con) - mu (sin)					
Estimate for difference: 0.710					
95% CI for difference: (-0.784, 2.204)					
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.95 P-Value = 0.347 DF = 77					

Se percibió que no hay diferencias significativas entre los tratamientos con pintura y sin pintura, donde se observaron valores en un rango de - 0.78 a 2.20.

Por otro lado se realizó un modelo lineal para probar diferencias entre pintura y sin pintura, Orientación Norte y Oeste, y Hora.

General Linear Model: difent-sal versus Pintura, Hora, Orientación

Factor	Type	Levels	Values
Pintura	fixed	2	con, sin
Hora	fixed	12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
Orientación	fixed	2	N, O

Analysis of Variance for difent-sal, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pintura	1	12.113	12.113	12.113	1.32	0.253
Hora	11	239.518	239.518	21.774	2.38	0.013
Orientación	1	279.825	279.825	279.825	30.57	0.000
Error	82	750.559	750.559	9.153		
Total	95	1282.014				

S = 3.02542 R-Sq = 41.45% R-Sq(adj) = 32.17%

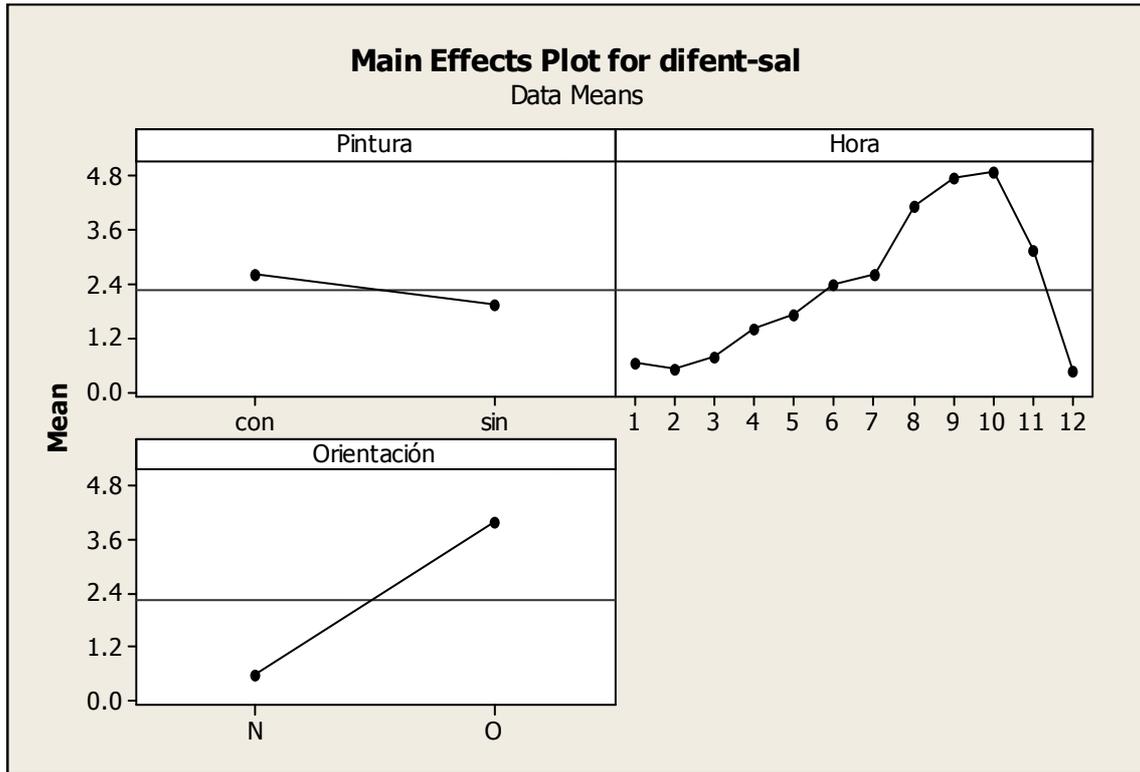
Unusual Observations for difent-sal

Obs	difent-sal	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
5	5.5000	-0.3750	1.1554	5.8750	2.10 R
8	-4.0000	2.0750	1.1554	-6.0750	-2.17 R
10	-5.0000	2.8125	1.1554	-7.8125	-2.79 R
11	-5.0000	1.0625	1.1554	-6.0625	-2.17 R
22	12.0000	6.2271	1.1554	5.7729	2.06 R
23	11.0000	4.4771	1.1554	6.5229	2.33 R
44	12.0000	5.4896	1.1554	6.5104	2.33 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Estos datos se aprecian en el siguiente gráfico:

GRÁFICO 20. EFECTOS POR DIFERENCIA DE LOS DATOS DE TEMPERATURA DE ENTRADA ENTRE LOS DE SALIDA.



En donde se observó que el análisis de varianza muestra:

Que los principales efectos debidos a la variable pintura no es significativa, pero muestran una tendencia hacia los valores "con Pintura". La Hora es significativa principalmente en el décimo valor del registro. Y la orientación Oeste es la más representativa.

También se hizo otro modelo lineal para la interacción entre Pintura-Orientación, Pintura-Hora, y Hora-Orientación.

General Linear Model: difent-sal versus Pintura, Hora, Orientación

Factor	Type	Levels	Values
Pintura	fixed	2	con, sin
Hora	fixed	12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
Orientación	fixed	2	N, O

Analysis of Variance for difent-sal, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pintura	1	12.113	12.113	12.113	1.65	0.204
Hora	11	239.518	239.518	21.774	2.97	0.003
Orientación	1	279.825	279.825	279.825	38.13	0.000
Pintura*Orientación	1	18.463	18.463	18.463	2.52	0.118
Pintura*Hora	11	25.651	25.651	2.332	0.32	0.979
Hora*Orientación	11	273.414	273.414	24.856	3.39	0.001
Error	59	433.031	433.031	7.340		
Total	95	1282.014				

S = 2.70915 R-Sq = 66.22% R-Sq(adj) = 45.61%

De donde resulta que la interacción Hora-Orientación es significativa, de acuerdo con el modelo anterior se reafirma la significancia de estas dos variables.

6.3. EVALUACIÓN MATEMÁTICA DEL CAUDAL DE AIRE

Después de tener las estimaciones horarias de la temperatura en el sistema, se procede a la obtención del caudal de ventilación por medio de una ecuación, sustituyendo los valores anteriormente adquiridos, la cual dice:

El caudal de aire es proporcional a la superficie de entrada y a la raíz cuadrada de la altura multiplicada por la diferencia de temperaturas medias según¹:

$$Q = 540 A \sqrt{h(T_1 - T_2)}$$

En la que:

Q = Cantidad de flujo de aire en m³/h

A = Superficie de entrada en m²

h = Diferencia de altura entre entradas y salidas en m

T₁ = Temperatura media del aire interior en °C

T₂ = Temperatura exterior en °C

En caso de que la relación de la superficie de entrada entre la de salida fuera apreciablemente distinta a la unidad, el coeficiente con valor 540 de la expresión anterior deberá ajustarse según las siguientes relaciones:

TABLA 18. RELACIÓN DE LA SUPERFICIE DE SALIDA ENTRE LA DE ENTRADA.

Superficie de salida = Relación Superficie de entrada	Valores de Relación en decimales	Cifra a sustituir de la expresión anterior
5	5.0	745
4	4.0	740
3	3.0	720
2	2.0	680
1	1.0	540
3/4	0.75	455
1/2	0.5	340
1/4	0.25	185

¹ Olgay, Victor; *Clima y Arquitectura*; Traducción al español por Josefina Frontado y Luis Clavet; p. 112.

Para aplicar ésta formula, se confirmó el uso del coeficiente de la siguiente manera:

Si Superficie de salida \neq 1, entonces ajustar el coeficiente de la expresión Superficie de entrada

Atendiendo a las dimensiones de la ventana y el dispositivo.

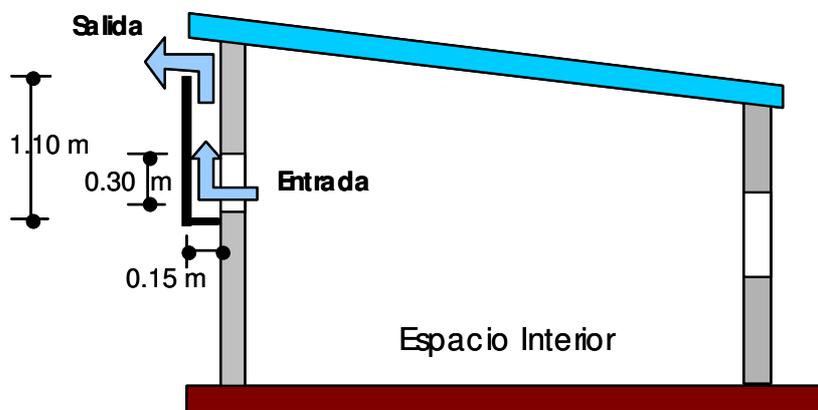


IMAGEN 43. CROQUIS QUE MUESTRA LA SECCIÓN DEL DISPOSITIVO.

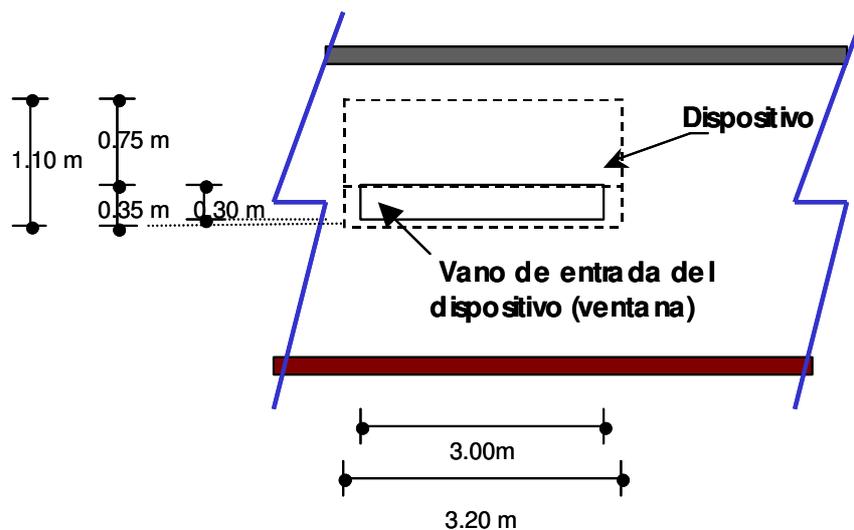


IMAGEN 44. DIMENSIONES DE LA VENTANA Y EL DISPOSITIVO.

Se tiene:

Superficie de salida $0.15 \times 3.2 = 0.48$

Superficie de entrada $0.30 \times 3.2 = 0.96$

$$\frac{\text{Superficie de salida}}{\text{Superficie de entrada}} = \frac{0.48 \text{ m}^2}{0.96 \text{ m}^2} = 0.5$$

Por lo tanto la constante a utilizar es la correspondiente a la relación $\frac{1}{2}$, sustituyendo en la fórmula queda:

$$Q = 340 A \sqrt{h(T_1 - T_2)}$$

Esta fórmula fue aplicada según las temperaturas obtenidas y se elaboraron las siguientes gráficas.

Las gráficas correspondientes al 23 y 24 de Junio conciernen a la colocación del dispositivo Norte sin pintar.

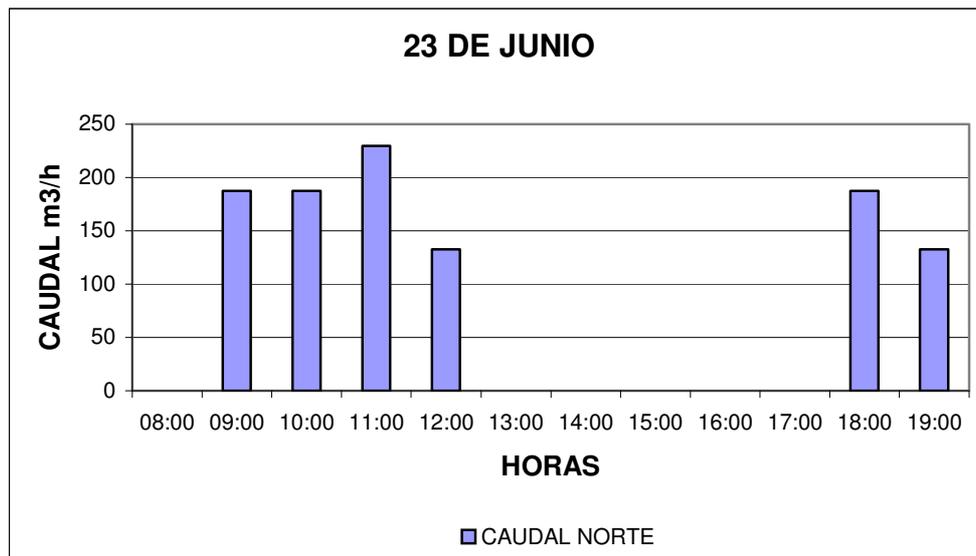


GRAFICO 20. CAUDAL DE VENTILACIÓN NORTE SIN PINTURA.

La posición del sol influyo en que el dispositivo trabajara muy poco durante este día, además los frecuentes nublados contribuían a este comportamiento. Tal como lo muestra la gráfica, el registro máximo del caudal fue menor a 250 m³/hora. En el periodo comprendido entre la 1 y las 4 de la tarde los valores son nulos.

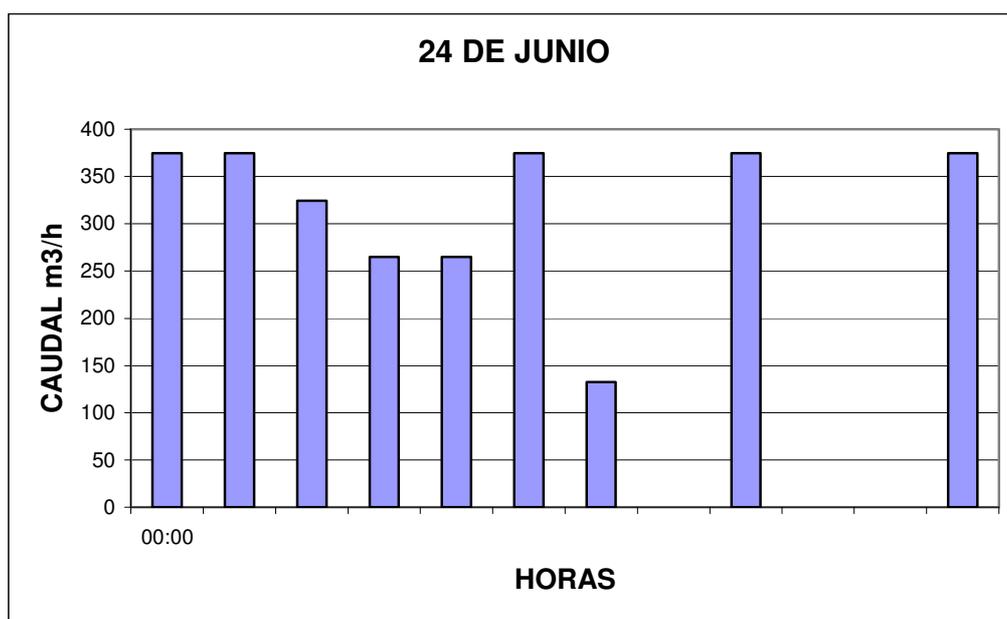


GRAFICO 21. CAUDAL DE VENTILACIÓN NORTE SIN PINTURA.

El día 24 de Junio fue un día soleado, y los valores del caudal de ventilación rebasaron ligeramente los 350 m³/hora, este fue el valor más alto alcanzado mientras no se tuvo colocado el otro dispositivo.

Para los días 14 y 15 de Julio se colocó el dispositivo Oeste, por lo que para estos eventos se contaba ya con dos. La variante de la pintura se mantuvo igual que en los casos anteriores.

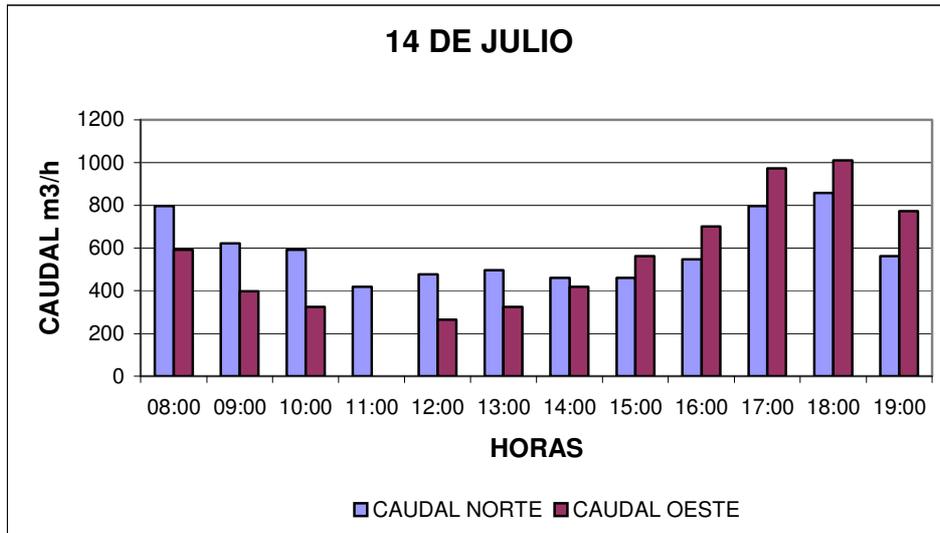


GRAFICO 22. CAUDAL DE VENTILACIÓN NORTE Y OESTE SIN PINTURA.

Esta gráfica nos muestra que la extracción del dispositivo Norte se asentúa en las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde, mientras el dispositivo Oeste tiene sus mayores extracciones durante la tarde alcanzando 1000m³/hora, disminuyendo hacia el medio día, todo esto es propiciado por la trayectoria solar. Y es claro que por esta misma trayectoria, el dispositivo Oeste presente un mejor desempeño que el dispositivo Norte.

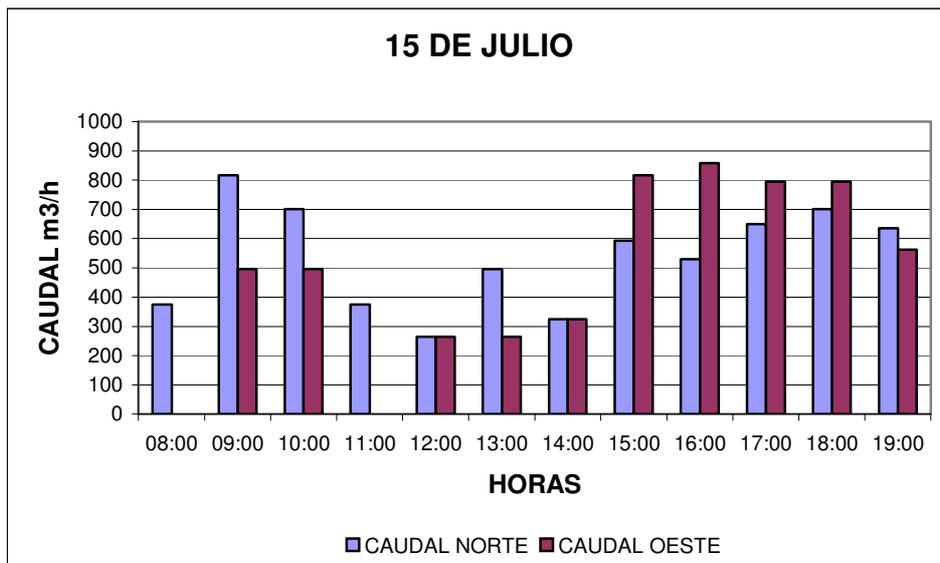


GRAFICO 23. CAUDAL DE VENTILACIÓN NORTE Y OESTE SIN PINTURA.

Aquí se observa un comportamiento similar, solo que en esta el dispositivo Norte muestra un pico a las 9 de la mañana, el cual se debe a que en ese momento el cielo no presentaba nubosidad. En cuanto al dispositivo Oeste podemos decir que el patrón seguido es muy parecido al anterior.

Otra de las observaciones que se hacen acerca de las gráficas hasta el momento presentadas, es que comparado el funcionamiento del dispositivo Norte mejora cuando se encuentra acompañado del dispositivo Oeste.

Para los días 28 y 29 de Julio los dos dispositivos se encontraban pintados de negro.

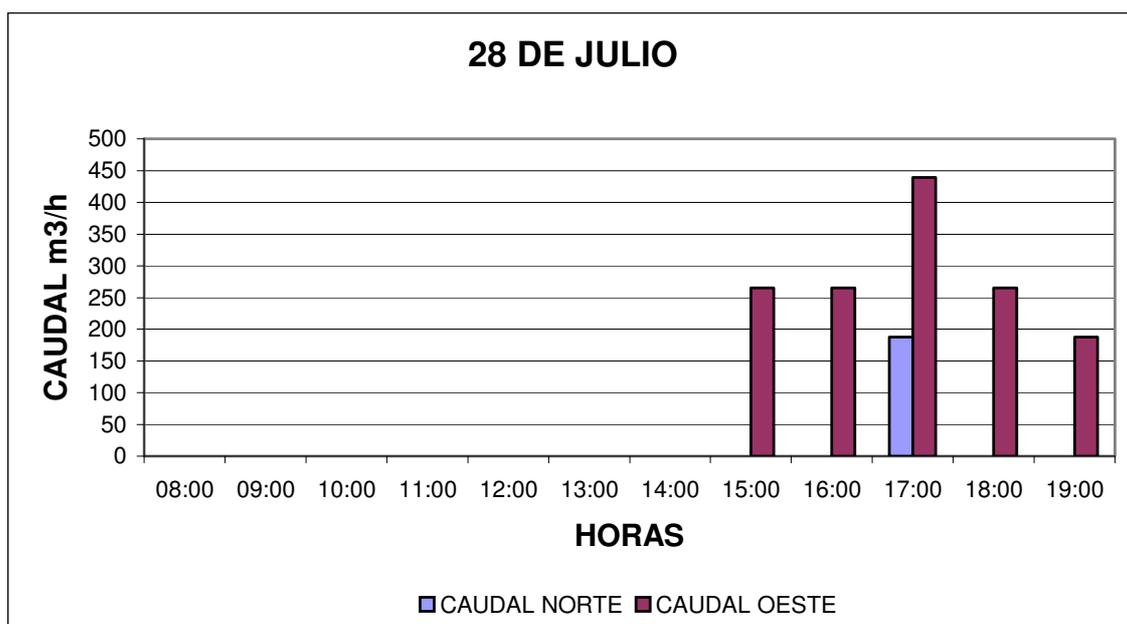


GRAFICO 24. CAUDAL DE VENTILACIÓN NORTE Y OESTE PINTADOS.

Este día por ser un día nublado registro una menor extracción, podemos observar que el dispositivo Oeste solo trabajó la segunda mitad del día y sus números fueron muy bajos, en lo general el dispositivo Norte presentó un patrón con valores negativos.

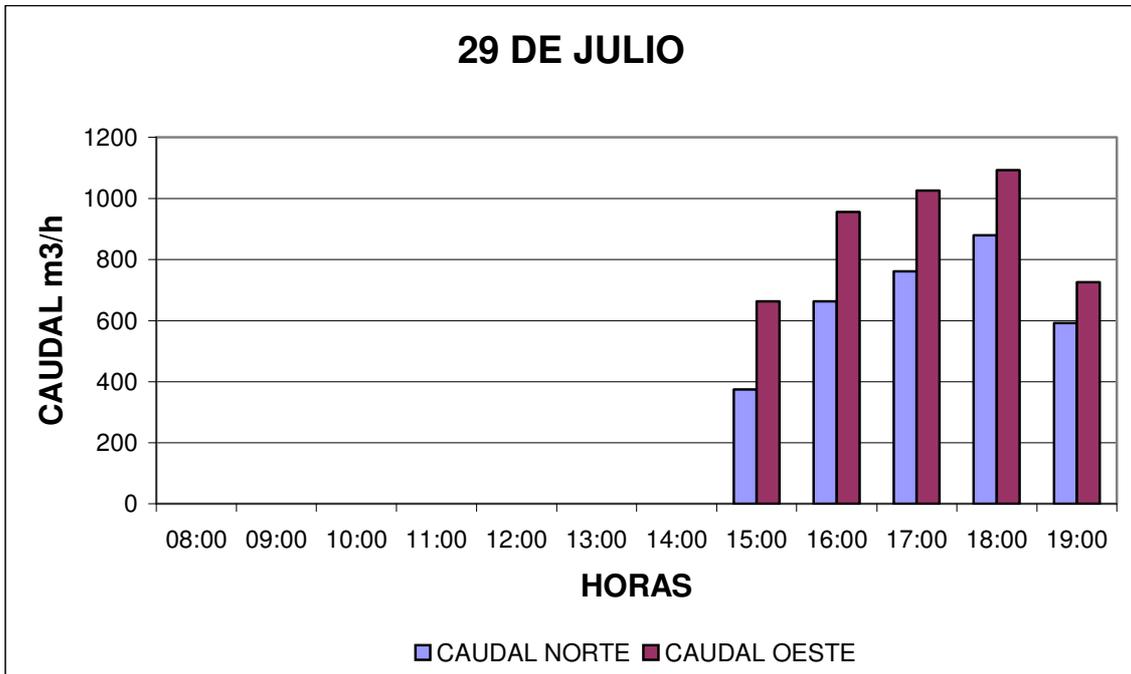


GRAFICO 25. CAUDAL DE VENTILACIÓN NORTE Y OESTE PINTADOS.

La mañana de este día fue nublada y la tarde despejada por lo que ambos dispositivos tuvieron una eficiencia relativamente baja, sin embargo, en estas dos gráficas podemos notar que el dispositivo Oeste siempre tiene extracciones altas a partir de las 15 horas, aún en los días nublados.

Como se pudo apreciar los índices del caudal de ventilación son bajos, en comparación al tamaño del volúmen de la habitación que es de aproximadamente 300 m^3 . Tomando en cuenta el valor máximo obtenido en el caudal $1092 \text{ m}^3/\text{h}$ del dispositivo Oeste y lo dividimos entre el volumen del espacio, obtenemos 3.64 cambios de aire por hora.

Después de esta comparación se puede afirmar que se espera mucho de estos dos dispositivos en relación al volumen del espacio de estudio.

· CAPÍTULO 7 ·

CONCLUSIONES

Primeramente se muestra una síntesis de las características del espacio de estudio.

- Incomodidad térmica al interior.
- Clima con altos índices de temperatura y humedad.
- Disposición enfrentada de ventanas a alturas diferentes.
- Ventanas en fachadas con distintas dimensiones.
- Presencia de vegetación frondosa en la fachada Sur.
- Presencia de corredor techado en la fachada Este.

De lo planteado al inicio de esta investigación, se logró tomando en cuenta la climatología y la ubicación de la vivienda, una aplicación al lugar. Se obtuvo el efecto convectivo dentro del dispositivo debido a las variaciones de temperatura en su interior. Sin embargo se obtuvieron resultados negativos en cuanto al movimiento del aire al interior de la habitación.

Sin embargo como el sistema fue colocado cerca de la cocina se proporcionó una mejor extracción del aire caliente procedente de ella.

El análisis mostró que a medida que el día avanzaba, el calentamiento en los dispositivos era mayor. Esta situación lleva a inferir que la sección de muro utilizada, a pesar de no estar expuesta directamente a los rayos solares, experimenta acumulación de calor a causa del fenómeno por conducción proporcionado por la sección de pared soleada. Además de que el aire calentado en el interior del dispositivo, sede calor al muro.

El dispositivo que menor desempeño tuvo fue el Norte, debido a su poca recepción solar, los rayos son inclinados y no inciden de manera perpendicular por lo que no hubo un mayor calentamiento de las superficies. Sin embargo contribuyó, aunque en menor medida a la extracción.

El desempeño del dispositivo tanto en los modelos como en la aplicación real fue similar, pues la extracción del aire interior fue muy lenta. También es indicativo de que las reproducciones de modelos a escala para simular situaciones reales, son de mucha ayuda; mientras mayor sea la semejanza del modelo con la realidad, habrá una mayor similitud en los resultados.

De acuerdo con los datos de conductividad térmica, se genera la hipótesis de que empleando la lámina de aluminio el dispositivo tendría un funcionamiento del 400 por ciento. Y si a esto se agrega la colocación de un dispositivo por ventana, los resultados serían más optimistas.

En los datos registrados se corroboró que la temperatura en el dispositivo varió entre los puntos observados.

El sensor de entrada presentó las más altas temperaturas en comparación con el de salida y el del exterior de la vivienda, esto puede explicarse si se toma en cuenta que esta zona es la de mayor concentración de calor, debido a que en esta zona se reunieron varias situaciones: parte última del muro soleado, intensificación del calor debido al vidrio, calor cedido del ambiente interior.

El sensor de salida presentó los valores más bajos de temperatura, teóricamente debido a que su localización se encontraba sombreada y sujeta a la influencia de aire del exterior.

Lo cual sugiere que el diseño del dispositivo debe ser mejorado, para hacerlo más eficiente. Se recomienda también el empleo de un número mayor de sensores que posibiliten una mejor visualización de los acontecimientos.

En lo particular, ésta propuesta puede ser combinada con otros sistemas pasivos, como son la chimenea solar y el techo escudo. Además, la salida de aire se puede mejorar con ayuda de un ventilador colocado en la ventana opuesta a la del dispositivo, teniendo cuidado de no introducir aire caliente del exterior, todo esto a fin de tener un ambiente interior confortable.

Se resumen a continuación las principales estrategias para el acondicionamiento pasivo.

TABLA 19. RECOMENDACIONES DE ACONDICIONAMIENTO PASIVO PARA VIVIENDAS EN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO.

RECOMENDACIÓN	BENEFICIO	APLICACIÓN O ESTUDIOS REALIZADOS
Techo escudo	Promover enfriamiento: Disipación del calor de la cubierta.	Auditorio del Laboratorio de Energía Solar en Temixco, Morelos, UNAM. Diego A. Samano, J. Diego Morales y David Morillón; " <i>Prácticas de Sistemas Pasivos</i> "; Notas del Curso de Actualización de Energía Solar , Temixco Morelos, UNAM, 1997; p. 410 ss.
Chimenea Solar	Promover ventilación: ahorro energético y control	Tesis: "Sistema de Ventilación Inducida Chimenea Solar, como alternativa a la eficiencia energética de edificios ubicados en clima cálido-húmedo". Autor: Jorge Flores González, ex-alumno Posgrado de Arquitectura UNAM
Bóvedas y Cúpulas	Promover enfriamiento: Disipación del calor por superficie curva de la cubierta.	Casa de las Campanas, Municipio de Cunduacán, Tabasco. Propietaria: Aida López Cervantes
Enfriamiento por ventilación natural o inducida	Promover ventilación: mecanismos naturales para rebajar la temperatura del aire interior	Casa de las Campanas, Municipio de Cunduacán, Tabasco. Propietaria: Aida López Cervantes

Esta investigación no pretende dar una receta, pues las condiciones climáticas de los distintos lugares y la orientación de las diferentes edificaciones son características no uniformes.

Sin embargo lo que se quiere plasmar, es que sí es posible buscar una alternativa de solución para enfriamiento, diferente a las habituales y aplicarla, aunque esta no sea 100 por ciento efectiva en comparación a cualquier equipo de acondicionamiento ordinario.

BIBLIOGRAFÍA

ALLAN, Konia; Diseño en Climas Cálidos; Edit. Blume; 1981.

ALMANZA Salgado Rafael, at. al.; Actualización de los Mapas de Irradiación Global solar en la República Mexicana; Series del Instituto de Ingeniería; UNAM; México; 1992.

ANDERSON, Bruce; Guía Fácil de la Energía Solar Pasiva; Ed. G. Gili; México, D.F., 1984.

ANDERSON, Bruce; Solar Energy: Fundamentals in Building Desing; Edit. McGraw Hill; Unites States of America; 1977.

ASHRAE; Handbook and production; 1977.

ASHRAE; Handbook of heat Transfer Aplications; Mc Gill; 2a edición, 1977.

CAMUS, Roger y Donald Watson; El habitat Bioclimático; Edit Gustavo Gilli; México; 1983.

COLLIEU, Antony Mc B. Y Powey Derek j.; Propiedades Mecánicas y Térmicas de los Materiales; Edición en español; Edit. Reverté; España; 1977.

CORNOLDI, Adriano y Sergio Los; Habitat y Energía; Edit. Gustavo Gilli; Barcelona; 1982.

Desining Healthy Buildings: Indor Air Quality; november 1992; The American Institute of Architects; Washington, DC; 1992.

Energy, Enviroment Architecture; Committe on the Enviroment; The American Institute of Architects; Atlanta Georgia; 1991.

GARCIA de Miranda, Enriqueta, Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana), UNAM, México, D.F., México, 4ª, 1987.

GARCÍA, Chávez José Roberto; Viento y Arquitectura; Edit. Trillas; México, 1995.

GONZÁLEZ, Eduardo y Elke Hinz; Proyecto Clima y Arquitectura; Universidad de Zulia; edit. Gustravo Gilli; 1986.

IZAR, Luis Jean y Guyot Alain; Arquitectura Bioclimática; Edit.

KONYA, Allan; Diseño en Climas Cálidos; Edit. Blume; Barcelona; 1981.

MEINEL, B. Aden; Aplicaciones de la Energía Solar; Edit. Reverté; España; 1982.

Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar; ANES; Chihuahua, Chihuahua; 1997.

MCPHILLIPS, Martin; Viviendas con Energía Solar Pasiva; Editorial G. Gili; México; 1985.

MORILLÓN, David; Bioclimática, Sistemas Pasivos de Climatización; Universidad de Guadalajara; México, 1993.

Notas del Curso de Actualización de Energía Solar; Universidad Nacional Autónoma de México; Temixco, Morelos, 1997.

OLGYAY Victor; Arquitectura y Clima; Traducción al español por Frontado Josefina y Clavet Luis; Edit. G. Gili; Barcelona, 1979.

PIERREE, Robert Sabady; Arquitectura Solar; Ediciones CEAC; Barcelona, España; 1989.

PUPPO, Ernest; Acondicionamiento Natural y Arquitectura; Edit. Marcomb Editores, 2a Edición; Barcelona, 1979.

PUPPO, Ernes, Giorgio A., Giancarlo; Sol y Diseño; Edit Marcombo; España; 1976.

RODRÍGUEZ, Viqueira Manuel; Et. Al. ; Introducción a la arquitectura bioclimática; Edit. Limusa; México 2001.

SERRA, Florensa, Rafael y Helena Coch Roura; Arquitectura y Energía Natural. Ediciones UPC; Barcelona, 1995.

STEADMAN, Philip; Energía Medio Ambiente y Edificación; H. Blume Editores; 2a edición en español; España, 1983.

SZOKOLAY; Arquitectura Solar; Edit. Blume; Barcelona;1983.

TUDELA, Fernando; Ecodiseño; Universidad Autónoma Metropolitana; México, 1982.

UAM; Arquitectura Bioclimática y Energía solar; UAM, Azcapotzalco; México D.F., 1987.