



**SISTEMA DE VENTILACIÓN INDUCIDA CHIMENEA SOLAR, COMO
ALTERNATIVA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS
UBICADOS EN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO.**

JORGE FLORES GONZÁLEZ



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.

**SISTEMA DE VENTILACIÓN INDUCIDA CHIMENEA SOLAR, COMO
ALTERNATIVA A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS
UBICADOS EN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO.**

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ARQUITECTURA PRESENTA:

JORGE FLORES GONZÁLEZ

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

UNAM

MMVII

A mi esposa, y a mis hijos Aarón e Isaac.

Agradecimientos

Primeramente a mi esposa por su apoyo y comprensión para la realización de este documento.

A mi madre que aun me acompaña, y a mi padre que ya no le fue posible ver este esfuerzo; así como a la familia de mi esposa por estar presentes de forma incondicional.

De igual forma a todos mis maestros, y en especial al Dr. en Arq. José Diego Morales por el tiempo invertido en la realización de este trabajo, ayudándome a concluir esta investigación. Y por último y no menos importante, al M. Arq. Francisco Reyna Gómez por su atención a mi trabajo. A todos ustedes Gracias.

ÍNDICE

Planteamiento del problema

Justificación

Objetivos

Capítulo I. Antecedentes

La necesidad del cambio de nuestras propuestas

Origen del sistema

Capítulo II.- El sitio

La ciudad de Villahermosa Tabasco.

Características del predio y vivienda urbana

Variables climáticas

Capítulo III.- El calor y la chimenea solar.

Fenómenos asociados a un espacio

La dificultad de la ventilación natural como estrategia

Aplicaciones de las chimeneas solares y el efecto “stack” en arquitectura

Capítulo IV.- Análisis y aplicación de modelos

Observación del fenómeno en modelos a escala

Evaluación del efecto de flotabilidad

Comportamiento y análisis de la cámara de calentamiento

Capítulo V.- Resultados

Forma y patrones de radiación

Influencia de la latitud

Incidencia solar

Zonas calientes de la edificación y su aplicación

Modelo versus edificio

Conclusiones

Bibliografía

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El futuro un tanto incierto respecto a nuestros recursos energéticos cada vez más comprometidos y limitados, han llevado a la Arquitectura a ser parte activa en la búsqueda de soluciones desde la práctica del diseño arquitectónico, y tal como mencionaba Vitrubio *“la edificación no debería ser igual en Pontus que en Roma”*. Y después de la década de los setentas cuando se presentó una crisis en el área de los energéticos fósiles, diversas áreas del conocimiento se dieron a la tarea de buscar soluciones, y desde la Arquitectura destacaron los estudios realizados por Victor y Aladar Olgyay, en la década de los cincuentas; estudios que dieron a conocer estrategias que podían aplicarse a través de la práctica de la Arquitectura y que involucraban un estudio detallado de la climatología del lugar, la evaluación de las condiciones de comodidad térmica, las soluciones tecnológicas de las se disponían en el momento y su correspondiente aplicación arquitectónica. Es aquí en donde se manifiestan las primeras aplicaciones de algo que se dio a conocer con el nombre de sistemas pasivos de climatización, los cuales hacen el manejo de forma natural de la energía que entra y sale del edificio, a través de los mecanismos de transferencia de calor. Y aunque los estudios realizados se enfocaron en condiciones de climas moderados de los Estados Unidos, no deja de ser interesante la exploración del conocimiento y diseño de este tipo de sistemas, porque la mayor parte de estos y otros, se concentran en su aplicación dentro de climas moderados y cálido secos, siendo muy pocos para climas cálidos y húmedos, haciéndose indispensable que estos sean estudiados dentro de estos últimos.

Por lo que atendiendo a lo anterior, la presente investigación esta enfocada a la Ciudad de Villahermosa, se encuentra ubicada en el municipio de Centro en el estado de Tabasco, dentro de un clima cálido húmedo; esto significa la existencia de rangos de temperatura y humedad alta la mayor parte del año, por lo que es fácil alcanzar promedios de 36° C en la época calurosa, y máximas de hasta 42° C, dentro de rangos mínimos de humedad relativa del 55% al 65 %; estos indicadores ambientales

manifiestan que aquí, los edificios se encuentran bajo la perspectiva de un mayor requerimiento de enfriamiento del edificio, la mayor parte del día y del año.

Requerimiento, que en la práctica de la Arquitectura se ha venido olvidando, debido a la complejidad que la morfología urbana, que plantea grandes retos para todo aquel que pretenda explorar las posibilidades de solución a estos requerimientos.

La necesidad de edificios que den respuestas a las necesidades de enfriamiento, para mantener buenos niveles de confort térmico en el interior de sus espacios, con el uso eficiente de la energía y de los recursos climáticos favorables; recaen en la práctica de la Arquitectura y en la concientización de su ejercicio para no sacrificar al usuario y su economía durante la vida de uso del edificio.

Por lo cual esta investigación se realiza en una zona cálida húmeda, con un carácter exploratorio de las posibilidades de aplicación de un sistema en específico, como es el caso de la estrategia de enfriamiento por ventilación inducida, mediante el sistema de chimenea solar, como alternativa para alcanzar la eficiencia energética en la edificación de la zona de estudio.

JUSTIFICACIÓN

Como arquitecto, pretendo ampliar mi conocimiento dentro del campo del diseño eficiente energéticamente, a través de la aplicación de los sistemas pasivos de climatización, e incidir en la práctica y formación de las nuevas generaciones de arquitectos; ya que esto no se trata de una nueva moda, si no de una necesidad del cambio de nuestras propuestas, ante las nuevas exigencias de una sociedad en constante cambio.

El planteamiento de nuevas alternativas de solución dentro del campo de la eficiencia energética plantea nuevos retos, y los beneficios que se plantean desde la perspectiva de vislumbrar la entrada en una nueva visión de la Arquitectura, los temas de eficiencia energética en edificios plantean un mayor conocimiento del arquitecto, en temas como serían: La inclusión de energías alternativas, temas de carácter ecológico desde el planeamiento hasta la ejecución de la obra, y otros más relacionados con el tema.

Por otra parte, las investigaciones realizadas en climas cálidos húmedos resultan de lo más importante, ya que en sitios como éste, en donde el tener una edificación fresca es una necesidad básica y fundamental, día a día nos resulta cada vez más cara económicamente; sin saber que a esto habría que sumarle los costos de carácter ecológico, que aun son incalculables; y en donde la edificación común y contemporánea del sureste mexicano, esta cambiando su identidad de trópico húmedo, por un trópico plagado de sistemas de climatización artificial, o al menos lleno de más vanos en fachadas, que posteriormente serán ocupados por los sistemas consentidos de climatización.

Y en tiempos en donde las normativas energéticas del país, se enfocan en hacer un uso más racional de la energía eléctrica, su enfoque se ha centrado en equipos y sistemas de enfriamiento, iluminación y a la envolvente de los edificios no

residenciales; hasta el momento, pero los edificios residenciales serán incluidos en breve por encontrarse ya en consideración la normativa enfocada a este genero de edificio, motivo por el cual resulta relevante llevar a cabo exploraciones dentro de este campo.

OBJETIVOS

General

Indagar y explorar, la posibilidad de utilización de un sistema de inducción de aire, como lo es la chimenea solar en un clima cálido húmedo, y valorar su posibilidad de aplicación en zonas calientes de la edificación.

Esta investigación pretende como **objetivos particulares**:

- Explorar de forma teórica el beneficio en cuanto al confort térmico por inducción de aire para clima cálido húmedo.
- Conocer los patrones de comportamiento, en cuanto a temperatura de la cámara de calentamiento en relación a la incidencia solar sobre este.

HIPÓTESIS

Como hipótesis de este trabajo se presenta la siguiente conjetura:

“La ventilación inducida para una habitación, se favorece durante los intervalos de mayor calor y menor velocidad de vientos dominantes; en relación a la incidencia solar sobre el sistema captor denominado chimenea solar”.

CAPITULO I. ANTECEDENTES

LA NECESIDAD DEL CAMBIO DE NUESTRAS PROPUESTAS

“La mayor parte de las casas que habitamos los mexicanos no están diseñadas por arquitectos; están planeadas por sus moradores con el apoyo de un maestro de obra o un albañil. La ruptura con la Arquitectura tradicional ha sido drástica y no permitió darle continuidad al quehacer arquitectónico de tal manera que se conservaran formas, materiales y detalles arquitectónicos, producto de su relación con su medio natural, su tradición cultural, su paisaje y sus recursos locales. La Arquitectura mexicana moderna, y con esto nos referimos a la mayoría de las construcciones y no sólo a las obras de arquitectos, se caracteriza por sus soluciones simples en forma de cubo, con techos planos de concreto de baja altura, ventanas grandes horizontales, muros de bloque de cemento y su fachada principal orientada a la calle.”

Arq. J. Calvillo.

Tal como describe a la Arquitectura vernácula que se construye hoy en día, el arquitecto J. Calvillo, menciona que la ruptura con el medio natural es el común denominador para cualquier ciudad de nuestro país.

Dentro del pensamiento evolutivo de preservar el medio ambiente, han surgido diferentes enfoques de carácter ecológico, cuya evolución declina hacia el concepto de DESARROLLO SUSTENTABLE¹, *“desarrollo que pretende beneficiar LA CALIDAD DE VIDA del hombre en sus diversas necesidades, construyendo de esta manera las bases firmes de vida para las generaciones futuras”²*, por lo que diferentes disciplinas del conocimiento realizan esfuerzos por tratar de conservar el medio ambiente.

Pero la problemática de cada ciudad es un caso único debido a factores climáticos, biológicos, culturales y tecnológicos, por lo que es importante

ligar la modificación del medio físico natural al crecimiento de las ciudades.

En Arquitectura es posible hablar del conocimiento de la forma, pero esto solo representa un aspecto de la síntesis espacial, que depende de otros tantos valores como los estéticos, teóricos, funcionales, técnicos y operativos; radicando en estos últimos, un punto importante para la perspectiva operacional del edificio, aquí es en donde se debe trabajar para lograr edificios eficientes energéticamente.

Dentro de los esfuerzos encaminados a la utilización de nuestros recursos energéticos de manera más eficientes, se plantea la necesidad de nuevas alternativas, o mejoras a las ya existentes. El campo de la Arquitectura como es de suponer, no se encuentra ajeno a la problemática de diseñar edificios con el objetivo de hacer el uso eficiente de esos recursos energéticos, de los cuales dependerá durante sus fases de ejecución y mantenimiento la edificación.

El manejo de la forma en el diseño arquitectónico, depende en gran

¹ Término que se manifiesta en 1983, dentro de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo, liderada por Gro Harlem Brundtland, para la ONU.

² Ciudad de México; Ciudad Solar Sustentable; pág. 2.

medida de la conjugación de los materiales utilizados en el edificio, de esta manera los elementos que forman parte de la envolvente del edificio³, tiende a cobrar importancia en el momento en que estos actúan como el medio de enlace entre el ambiente interior y el exterior del edificio.

En años recientes la concepción de una envolvente totalmente hermética ha venido cambiando, los edificios concebidos bajo este esquema con el transcurrir de los años, han demostrado tener grandes consumos energéticos, debido a los requerimientos de enfriamiento y calentamiento del edificio.

Joseph Maria Montaner, menciona respecto de la producción arquitectónica de fin de siglo y del alcance de la tecnología aplicada.

“A punto de llegar a finales del siglo XX, los problemas básicos de la Arquitectura siguen siendo similares a los de todo el siglo. Uno de los más trascendentales es el de ajustar en cada

momento la Arquitectura a las posibilidades tecnológicas.

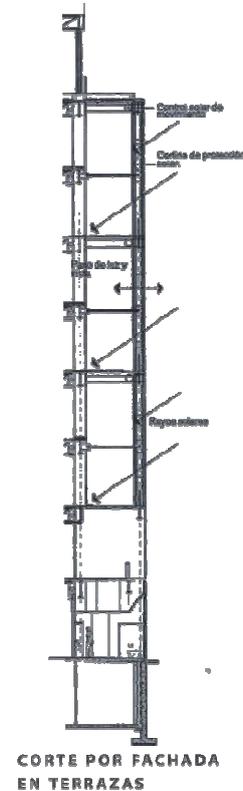


Imagen 1. Doble piel del Instituto De Ingeniería UNAM.

Cada obra de Arquitectura debe resolver siempre un problema técnico; convertirse en materia, delimitar espacios sólidamente adecuados para el hombre, resolver la piel de cubrición y protección y, sobre todo saber integrarse al entorno”⁴.

³ Se entiende por envolvente del edificio a los muros exteriores y el techo.

⁴ Joseph Maria Montaner; Después del movimiento Moderno; Arquitectura de la segunda mitad del siglo XX; pág. 258.

Desde el punto de vista de la Arquitectura, el diseño de edificios eficientes energéticamente⁵ juega un papel importante, dentro de este concepto de Desarrollo Sustentable, estos edificios tienen la forma de visualizar a partir de bases técnicas y tecnológicas lo que antes trataba de justificar la Arquitectura vernácula, esto es, buscar la interacción “**Arquitectura - medio ambiente**”, a través de la “**practica constructiva del ensayo y error**”, tomando como base esa relación tan estrecha del medio ambiente con las actividades del hombre de forma lógica y practica; por ejemplo: si la practica constructiva se llevaba acabo en una zona lluviosa, las soluciones constructivas estaban sujetas a impedir que la lluvia penetrara en el interior de la construcción, pero esta variable meteorológica no definía todo, ya que la influencia de otra variable como por ejemplo la temperatura, podía influir en características diferentes en la concepción de la solución, siendo esto que en zonas lluviosas de temperatura

⁵ En términos personales, son edificios que tienen la facultad de obtener un ahorro energético, durante la vida útil del mismo, por la aplicación de diversas técnicas, ya sean pasivas o activas alternativas.

alta las construcciones tienden a ser ligeras, buscando la frescura en el interior de las mismas, caso contrario sucede en una zona o región con lluvias abundantes y bajas temperaturas, las construcciones tienden ha ser pesadas y abrigadoras.

Pero tal como dice el Arquitecto Calvillo:

“La ruptura con la Arquitectura tradicional ha sido drástica y no permitió darle continuidad al quehacer arquitectónico de tal manera que se conservaran formas, materiales y detalles arquitectónicos, producto de su relación con su medio natural, su tradición cultural, su paisaje y sus recursos locales”.

Y esto así es, la relación **Arquitectura – medio ambiente** debe existir prioritariamente, como ya lo mencionaba Vitruvio.

Atendiendo la necesidad de evaluar esta relación en cuanto al caso de Villahermosa Tabasco, que por encontrarse en la franja costera del sureste de nuestro país, se presentan

condiciones de altas temperaturas y altos rangos de humedad, que traería como consecuencia que su Arquitectura debiera reflejar la influencia de dichas variables, pero, sucede que al observar la imagen de la ciudad de forma gráfica (fotografía) solo es posible darse cuenta que es una zona calurosa, por la gran cantidad de equipo de aire acondicionado que se aprecian en fachadas de edificios; y de que es una zona con altos índices de humedad en el ambiente, por las manchas oscuras a causa del moho presente en muros y cubiertas.

La Ciudad se encuentra inmersa en un clima cálido húmedo, por lo que casi todo el año se manifiestan condiciones en donde aun con la presencia de nublados se pueden alcanzar temperaturas de alrededor de los 28 °C – 36 °C centígrados fácilmente. Pero este hecho aun no es una situación tan crítica realmente, si se considera el factor de aclimatación de la gente a éstas condiciones, ya que las condiciones más críticas se presentan durante los periodos de calma de viento o en condiciones de sombra del mismo, ya que al no existir desplazamiento de

éste, a velocidades menores a 0.25 metros por segundo⁶, la sensación térmica resulta totalmente intolerable, aun para personas nativas de este sitio.

¿Pero qué es lo que se hace arquitectónicamente, como solución al problema térmico de la edificación?

Tradicionalmente las soluciones más acertadas, como se hizo referencia anteriormente, se han originado en la Arquitectura vernácula de la región, en donde el uso de materiales autóctonos y el conocimiento del medio, dio una respuesta favorable a las exigencias de las condiciones climáticas de la región, tratando siempre de mantener un ambiente fresco en sus construcciones, y en resguardo sus posesiones más preciadas, fuera del alcance de las inundaciones periódicas que se presentaban o que aun se presentan.

Actualmente, las soluciones aplicables desde el punto de vista térmico, se resumen en la utilización de sistemas electromecánicos tales como ventiladores y sistemas de enfriamiento,

⁶ Según la escala Beaufort, se trata de calma a este rango de velocidades.

como consecuencia del cambio en la aplicación de materiales autóctonos por materiales nuevos, de forma no muy acertada. Además, de haber modificado escalas constructivas en la edificación, que han repercutido en un ahorro paliativo inmediato de la relación altura – costo de construcción, resultando a largo plazo en soluciones más caras, en la relación edificio – consumo energético, para satisfacer los requerimientos de enfriamiento del mismo.



Imagen 2. Vivienda rural del trópico húmedo, Tabasco.

La construcción común que se lleva actualmente en la ciudad se enfrenta frecuentemente a condiciones limítrofes y principalmente a la disponibilidad de tierra firme, por lo que se rellenan lagunas y vasos reguladores, para atender esa

necesidad de espacio. Por lo que se hace necesario que la edificación tienda a sustituir espacios destinados a la ventilación, por sitios cerrados y acondicionados artificialmente en el mejor de los casos. Y aunque siendo una ciudad relativamente pequeña es apreciable ya el fenómeno de isla de calor.

Cambiando de enfoque, en la actualidad en nuestro país se conciben políticas en cuestión de energía, con una visión prospectivista de eficiencia energética en el Sector Eléctrico Nacional, promoviendo la utilización de otras fuentes de energía o bien programas que lleven este enfoque, políticas derivadas de la problemática en el ámbito internacional en materia de energía, de los acuerdos y acciones que se llevan a cabo en ese nivel.

Del Balance Nacional de Energía en el año 2000, se reporta un crecimiento del 2.1% respecto al año anterior, mientras que el PIB lo hizo en 6.9%, lo cual significa que ante un crecimiento de la producción real de la economía del 1% del consumo Nacional de Energía lo hace en sólo 0.3%.

Mientras para el Estado de Tabasco la agrupación sectorial de tarifas⁷, reportada por la CFE para el año 1999 y 2000 reporta los siguientes sectores con base al número de usuarios.

El sector tarifario predominante es el sector doméstico, por lo que, de acuerdo con CFE, quien supere la cantidad de 280 kw/h al bimestre se le reduce el subsidio gradualmente conforme incrementa su consumo. Así, para la tarifa de 850 kw/h mensuales que es para la tarifa de alto consumo doméstico, significa que las personas que tienen aires acondicionados y que cuentan con mayores ingresos económicos, son quienes ya no reciben el subsidio, mientras que los que gastan menos del rango límite lo continúan recibiendo⁸.

Pero el problema no es quien gaste más energía eléctrica pague más y quien gaste menos pague menos, el problema va más allá de esta simple apreciación.

Partiendo de la premisa de que la Arquitectura es un trabajo social, cabe enfatizar que en la tendencia de eficiencia energética, sus principios van dirigidos al mejoramiento del nivel de vida de los usuarios, desde el punto de vista del confort térmico, y a la integración del objeto arquitectónico a su contexto, e incidir en la reducción de la demanda de energía convencional.

Para lograr resultados efectivos en cuanto a la habitabilidad de los espacios, se parte del conocimiento detallado de las características del clima de la localidad y del emplazamiento específico de la obra, aspectos que inciden directamente en el confort térmico del hombre.

Retomando éste enfoque de la **Arquitectura en cuanto al diseño de edificios eficientes energéticamente**, resulta interesante la búsqueda de nuevas alternativas, que vinculen los factores climáticos más relevantes que influyen en la concepción arquitectónica, desde el punto de vista de la eficiencia energética de la envolvente.

⁷ Fuente: Estadísticas CFE 2002.

⁸ El costo del KWH es de 157 centavos por lo que con el subsidio el usuario sólo pagaba entre 59 y 49 centavos por Kw/h. (Datos del año 2002).

Usuarios					
Sector	1999	%	2000	%	2001
Domestico	357,985	3.4	370,029	4.3	386,048
Comercial	36,984	7.4	39,703	6.2	42,177
Servicios	1,855	10.1	2,042	18.2	2,414
Agrícola	23	30.4	30	30	39
Mediana Industria	1,411	5.6	1,490	9	1,624
Gran Industria	8	0	8	0	8
Total	398,266	3.8	413,302	4.6	432,310

Tabla 1. Consumo energético según CFE.

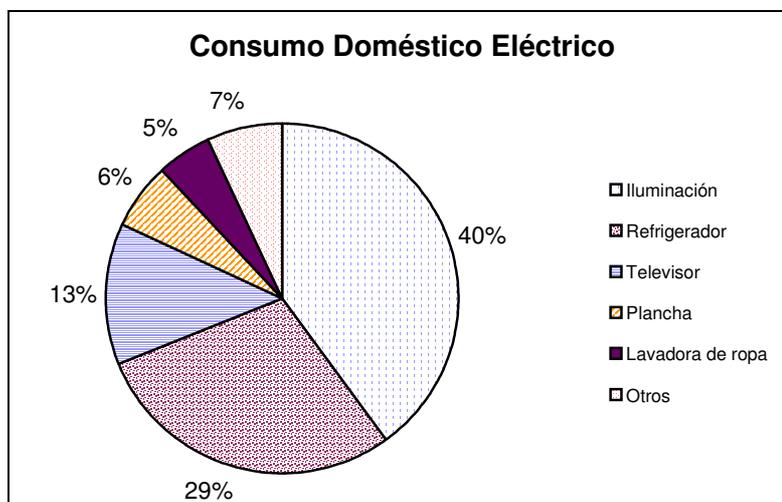


Gráfico 1. Consumo doméstico nacional por sector.

Dentro del campo de estudio de la energía solar, al dividirse en energía solar activa y energía solar pasiva, *“la primera contempla los estudios que para el aprovechamiento de la energía del sol se valen de equipo e instrumentos, y la segunda se involucra estrechamente con la Arquitectura estudiando los procesos de desplazamiento del calor”*⁹ a través de los llamados **Sistemas Pasivos**.

Por lo que la investigación se centro en atender el diseño y la problemática térmica de la edificación para un clima cálido húmedo, desde el objetivo de utilizar un sistema pasivo de ventilación inducida muy específico, la Chimenea Solar o Solar Chimney, en inglés.

La Arquitectura Bioclimática, el Helio Diseño, Ecodiseño, y el diseño eficiente de edificios energéticamente, entre algunas otras denominaciones tienen un común denominador, que es, **la interrelación de la Arquitectura con su medio ambiente energético**¹⁰, tratando de minimizar el impacto del

⁹ J.M. Rodríguez y J.C. Baltasar; Diseño Bioclimático de Edificios; pág. 10.

¹⁰ Serra Florensa; Arquitectura y Energía; pág. 16.

consumo de energéticos convencionales derivados del petróleo, que representan un desafortunado derroche de recursos tanto humanos como de energéticos, cada vez que no son utilizados eficientemente. Como de los llamados Sistemas Pasivos de Climatización, que buscan el proceso natural de transferencia de energía a través de los mecanismos de transferencia de calor por conducción, convección y radiación; en donde la intervención de los componentes del edificio juegan un papel importante, tratando de que los sistemas mecánicos (ventiladores o sistemas de aire acondicionado) adicionales al edificio sean mínimos, o de menor capacidad.

ORIGEN DEL SISTEMA

No es fácil que en nuestro planeta se puedan encontrar zonas geográficas en las cuales la climatización tan solo tenga que afrontar problemas de calentamiento o de enfriamiento, por lo general estos problemas no pueden separarse, y el edificio necesita ser calentado y

enfriado en determinados periodos durante el día.

Convirtiendo al edificio en un sistema regulador de energía entre su interior y el exterior, transformándose en un sistema dinámico. Este dinamismo de las ganancias o pérdidas de calor del sistema edificio, son apreciables por sus ocupantes mediante los receptores térmicos cutáneos de nuestra piel, y cuya respuesta se traduce en sensaciones de frío o calor, tal dinamismo viene a resultar en problemas de producción y disipación de energía por parte de usuarios del edificio, o lo que sería en otras palabras, a problemas de regulación del calor.

Considerando los patrones de desarrollo de las técnicas de climatización pasiva en el orden de prioridad para los países industrializados tendremos que, los países Europeos y a Norteamérica, como los generadores de la mayor bibliografía que pudiéramos consultar tratando este tema.

No solo el desarrollo de bibliografía relacionada con el tema,

sino además, aplicaciones y desarrollo de software. Basándonos en el hecho que las áreas más desarrolladas con climatización pasiva, se encuentran situadas en regiones con inviernos bastante fríos, se buscaran alternativas de solución a tal circunstancia, ya que esto repercute directamente en el consumo de combustibles fósiles.

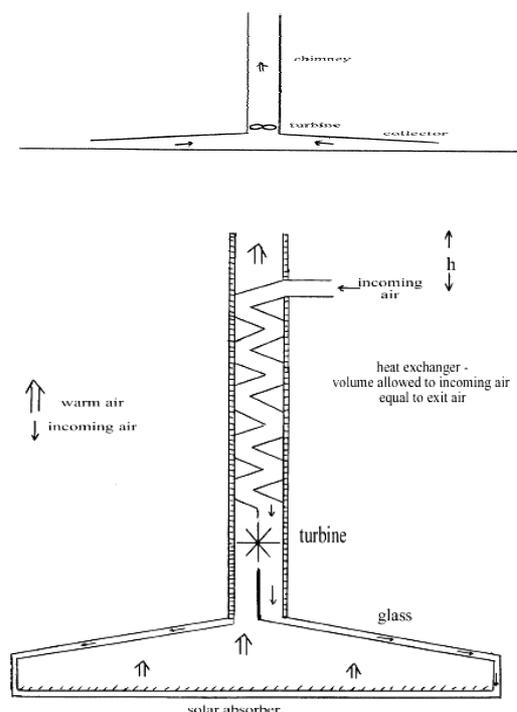
Instituidos en la aplicación de combustibles fósiles en un inicio, y con la ayuda del desarrollo tecnológico la captación de radiación solar y la acumulación de calor mediante almacenes térmicos, sólidos, líquidos o gaseosos, en primera instancia de forma empírica y posteriormente técnicamente estudiada, la aplicación de estas técnicas ha venido modificando la concepción de la Arquitectura y la energía, manifestándose valores agregados a la Arquitectura contemporánea de hoy día, valores que algunos teóricos como J. M. Montaner marcan que debieran conservarse, y no considerarse un "ismo" más.

El consumo de energéticos fósiles, para generar otro tipo de energía (electricidad), llegó a una crisis en la

década de los 70's, por lo que desde entonces se inicio la búsqueda de nuevas fuentes de energía, como por ejemplo las basadas en la fuerza del viento (eólica), del mar (mareomotriz) y la energía solar, de la que se desprenden algunos nombres como energía fotovoltaica, termosolar, etc. Los sistemas fototérmicos que convierten la radiación solar en calor y lo transfieren a un fluido de trabajo (que puede ser aire, agua o aceites), y el calor generado se usa entonces para calentar edificios, agua, mover turbinas para generar electricidad, secar granos y muchas otras aplicaciones.

La energía solar ha tenido una serie de estudios que se inclinan a su concentración y transformación en energía cinética, a partir del calentamiento de fluidos, dando continuidad a la transformación de esa energía en energía eléctrica. Y precisamente en este campo se encuentran homónimos del término **chimenea solar**, tal es el caso de un planteamiento de generar corriente eléctrica a partir de masas de aire calentadas a partir de la incidencia solar, sobre un gran manto acristalado, bajo el cual se calientan grandes masas

de aire, que ascienden para después ser desfogadas a grandes alturas de la atmósfera, que a través de este desplazamiento de aire debido a diferencias de temperatura entre masas de aire es como se logra mover turbinas generadoras de energía eléctrica, tal como se observa en la imagen siguiente¹¹.



¹¹ Holger Kreetz; Theoretical Examination and Construction of a Water Storage for the Solar Chimney; Stuttgart; Germany; 1997.



Pilot plant: only one big solar chimney has ever been built, the 195-metre prototype at Manzanares in Spain

Imagen 3. Chimenea solar para la producción de corriente eléctrica, Manzanares España.

De este tipo de prototipos existen algunos ensayos como el realizado en Manzanares España. Los planteamientos en éste aspectos se encuentran en un gran debate en el ámbito internacional en cuanto a la viabilidad de este planteamiento, no dejan de ser aportes tecnológicos encaminados a lograr nuevas fuentes de energía alterna.

Pero como ya se menciona, este no es el tema principal de esta investigación, así que retomando el tema se puede decir que:

“Las chimeneas solares o cajas negras utilizan el calor solar para reforzar la convección natural del aire. Una de las ventajas de las chimeneas solares es su habilidad de autobalance, cuanto más caliente el día, más se

*calienta la chimenea, y por lo tanto, más rápido será el movimiento del aire”.*¹² O bien,

*“Una chimenea solar es un colector solar para el calentamiento del aire, de funcionamiento automático, únicamente con energía solar. De todos los sistemas de calefacción pasiva, es el que pierde menos cantidad de calor cuando el sol no brilla. A excepción de las ventanas solares, las chimeneas solares (también llamadas circuitos convectivos), son el sistema de calefacción más utilizado en el mundo”.*¹³

Los sistemas pasivos tienden a ser clasificados de acuerdo a su función principal, según la clasificación de David Morillón G. en su libro “ *Bioclimática Sistemas Pasivos de Climatización* ”, las chimeneas solares se pueden utilizar como sistemas de enfriamiento al provocar la ventilación inducida, y generar mediante ésta, la remoción de las partículas de aire caliente en derredor del cuerpo.

¹² David Morillón Gálvez; Bioclimática, Sistemas Pasivos de Climatización; pág. 61.

¹³ Bruce Anderson y Malcom Well; Guía Fácil de la Energía Solar Pasiva, Calor y Frío Natural; Pág. 68.

De acuerdo con esta descripción las chimeneas solares tienen un diseño inicial, destinado a generar y conducir masas de aire caliente hacia el interior de los edificios, ubicados en regiones donde los periodos invernales les obligan a utilizar sistemas de calefacción. Pero la chimenea solar no solo tiene la característica de suministrar la energía térmica necesaria, para elevar la temperatura de una edificación, además puede provocar ventilación inducida¹⁴.

Así que algunos autores como el antes mencionado, recurren a sugerencias de croquis para explicar el funcionamiento de algunos tipos de este sistema, y podemos encontrar algo como lo indicado en la siguiente imagen. (ver imagen 4) .

Croquis que no son muy claros respecto al fenómeno observable. De manera general los sistemas pasivos pueden agruparse de diversas formas, como por ejemplo:

¹⁴ Se llama ventilación inducida al hecho de provocar la circulación de aire por una habitación, mediante una fuerza externa, dicha fuerza puede ser suministrada por un medio mecánico, o bien por un medio natural.

De los sistemas de enfriamiento pasivo descritos por Jeffrey Cook¹⁵, de acuerdo a estrategias de diseño, las opciones de enfriamiento pasivo se pueden resumir en el siguiente cuadro.

En él se puede observar que de la variable de confort, "movimiento del aire", tiene como opción de enfriamiento la ventilación inducida de varias formas, siendo una de ellas la chimenea térmica (o solar).

Aunque en estas clasificaciones no se atiende más que a señalar la idea de como se desarrolla el fenómeno de forma general, nos damos cuenta de la cantidad existente de sistemas. Así mismo, de esta tabla se obtienen las siguientes variables de confort a considerar, según la estrategia de diseño relacionadas a una chimenea solar (o térmica), encontrando que en tres de las cuatro variables de confort, se presenta la estrategia de diseño chimenea solar.

¹⁵ PLEA 1984.

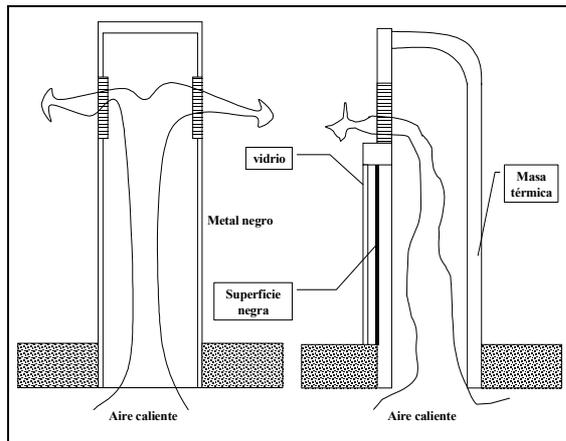


Imagen 4. Chimeneas solares, según David Morillón.

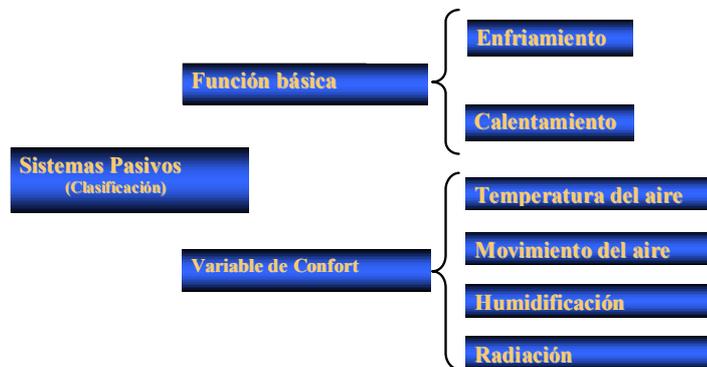


Imagen 5. Clasificación de sistemas pasivos según función básica o variable de confort.

Considerando las variables se realizan cuestionamientos para la temperatura del aire, la efectividad del movimiento de aire provocado por ventilación inducida, y por último a la radiación incidente al sistema.

cotidianas dentro de una edificación, de forma teórica y de observaciones y registros de campo.

Al considerar estas variables se busca y contrasta información relacionada al confort térmico, de la gente que realiza sus actividades

Variable de Confort	Opciones de Enfriamiento	Estrategia de diseño
Temperatura del aire	CONTROL DE LA GANANCIA DE CALOR. VENTILACIÓN NATURAL. PÉRDIDAS POR RADIACIÓN PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN HUMIDIFICACIÓN VENTILACIÓN INDUCIDA	SOMBREADO AISLAMIENTO RADIACIÓN NOCTURNA INTERCAMBIO AIRE-TIERRA SOLAR / CHIMENEA TÉRMICA SOLAR / MURO TROMBE GANANCIAS DIRECTAS ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO VEGETACIÓN
Movimiento del aire	VENTILACIÓN INDUCIDA	SOLAR / CHIMENEA TÉRMICA SOLAR / MURO TROMBE SOLAR GANANCIAS DIRECTAS INTERCAMBIO AIRE-TIERRA
Humidificación	HUMIDIFICACIÓN DESHUMIDIFICACIÓN MICROCLIMA	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO DESECACIÓN INTERCAMBIO AIRE-TIERRA VEGETACIÓN
Radiación	CONTROL DE LA GANANCIA DE CALOR. VENTILACIÓN NATURAL VENTILACIÓN INDUCIDA PÉRDIDAS POR RADIACIÓN PÉRDIDAS POR CONDUCCIÓN MICROCLIMA	SOMBREADO AISLAMIENTO TÉRMICO RADIACIÓN NOCTURNA FLUIR DE AIRE SOLAR / CHIMENEA TÉRMICA SOLAR / MURO TROMBE GANANCIAS DIRECTAS VEGETACIÓN

Tabla 2. Estrategias de diseño según opciones de enfriamiento sobre la base de variable de confort.

Que se revisarán durante el capítulo correspondiente. Siendo las chimeneas solares tanto para calentamiento como para enfriamiento, se han llegado a utilizar en el sur de los Estados Unidos, por lo cual cabe la posibilidad de que estas se pudiesen adecuar a alguna situación para el interior de nuestra República Mexicana, por lo que esta investigación se encaminó a recopilar experiencias en la aplicación y evaluación de este sistema en específico.

Chimenea Solar	Variable de confort
	Temperatura del aire
	Movimiento del aire
	Radiación

Tabla 3. Variables involucradas con la estrategia seleccionada.

CAPITULO II.- EL SITIO

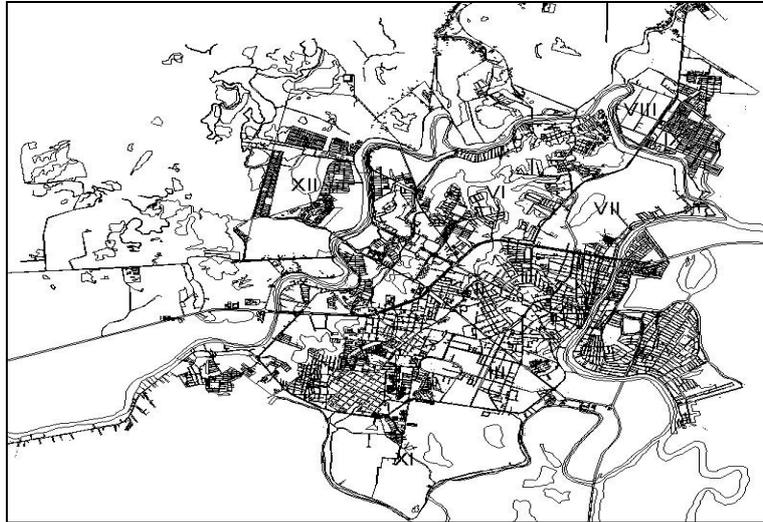


Imagen 6. Mancha urbana de la Ciudad de Villahermosa año 2000.



Imagen 7. Vista aérea de la ciudad de Villahermosa 2005.

“El hombre parece haber olvidado como diseñar teniendo en cuenta a la naturaleza, y tiende a ignorar el clima al estar preocupado por crear formas que sigan la moda”¹

¹ Allan Konya; *Diseño en Climas Cálidos*; pág. 7

LA CIUDAD DE VILLAHERMOSA TABASCO.

Ubicado en el sureste de nuestro país, el estado se encuentra dividido políticamente en 17 municipios, siendo la Ciudad Capital Villahermosa, perteneciente al municipio de centro. Se ubica en los 17° 59' de latitud Norte, y los 92° 52' de longitud Oeste, dentro de un clima cálido húmedo, con lluvias anuales que sobre pasan los 2000 mm de precipitación.

Tal como lo menciona Allan Konya, la necesidad del estudio de las variables climáticas predominantes en la región, es una necesidad imperante para el diseño de edificios adecuados a las exigencias climáticas de la zona.

“El ambiente cálido húmedo..., señala la necesidad de sombra, eliminación de la radiación en los muros Este y Oeste y en la necesidad de aprovechar cualquier movimiento de aire”²

Siendo que la mancha urbana de la ciudad se encuentra prácticamente delimitada por ríos como es el Río Carrizal que corre de este a noreste, y de sur a norte por el río Grijalva, convirtiéndola prácticamente en una isla rodeada por ríos, dentro de una amplia llanura plagada de cuerpos de agua (riachuelos, drenes, vasos reguladores y lagunas). (Ver imagen 6 y 13).

Dentro de ella se puede apreciar una imagen urbana plagada de Arquitectura comercial carente de identidad, en donde las características arquitectónicas enfocadas a sacarle el mayor provecho a las condiciones climáticas, y modeladas por el ejercicio constructivo de sus primeros moradores, se ha perdido casi en su totalidad (esas dobles alturas, pórticos, cubierta de teja francesa). (Ver imagen 8).

² Allan Konya; Op Cit, pág. 43.



Imagen 8. Casa ubicada en la Zona Luz (centro histórico de la ciudad).

Características motivadas a partir de la incidencia de las variables climatológicas predominantes en la zona, como son:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Vientos
- Radiación
- Y los eventuales; tormentas, inundaciones, huracanes, etc.

Ha quedado subvalorada, por una costumbre, idea, modismo o indiferencia hacia ella. Al ser una ciudad relativamente nueva, y bajo la influencia de ser una ciudad de servicios debido al manejo de la industria petrolera, se encuentra anhelante de encontrarse al último grito de la moda de una ciudad cosmopolita (ver imagen 9); y como es de esperarse esa tendencia es

manifestada por su Arquitectura, a expensas de pasar por alto la identidad de una ciudad de trópico húmedo.

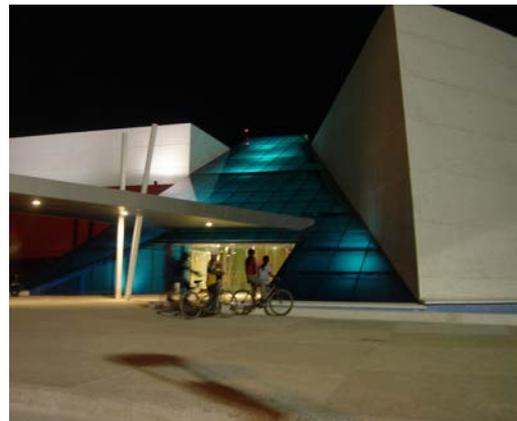


Imagen 9. Museo Papagayo en Villahermosa, Tabasco.

CARACTERÍSTICAS DEL PREDIO Y VIVIENDA URBANA

El predio urbano de la ciudad de Villahermosa, tiende a presentar un alto grado de complejidad en función a la morfología urbana, ya que pueden encontrarse predios bastante amplios que se han venido fraccionando, ya sea por motivos de herencia o comerciales, motivadas de la creciente demanda de un mayor número de espacios; de esta circunstancia se desprende que se puedan encontrar en la zona centro de la ciudad, predios cuyas dimensiones se

pueden ubicar entre los 4m y 6m metros de frente con longitudes entre los 20 m hasta los 60 m, o más.

De la topografía y la morfología urbana se puede mencionar, que existe una zona lomeríos³ en zonas específicas de la ciudad que la recorren de norte al sur oeste, para marcar pendientes del centro hacia las afueras de la ciudad.

En lo referente a las construcciones en su mayoría se encuentran edificadas con ladrillo de barro rojo recocido, o bien de block macizo o hueco, elaborado a base de arena y cemento; con losas planas de concreto armado. Resultando una minoría las techumbres a dos, tres o cuatro aguas recubiertas en teja francesa de barro, como herencia de esa construcción criolla desarrollada en el Estado.

De la inercia generada por la necesidad de vivienda en la ciudad, ha traído como consecuencia que las estrategias desarrolladas en la construcción

tradicional para contrarrestar las condiciones climatológicas desfavorables, mejor conocida como Arquitectura vernácula, se han perdido en su mayor parte, por ejemplo:

- el pórtico de la vivienda criolla,
- las dobles alturas,
- la ventilación cruzada
- las cubiertas a dos, tres o cuatro aguas.

Todos ellos, elementos integrantes de la envolvente de la edificación tradicional, que se habían encargado de proporcionar las mejores condiciones térmicas ha sus ocupantes, se han sustituido por ventiladores y equipos de refrigeración.

De acuerdo con estadísticas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEGI, los materiales que se involucran en la edificación del estado, considerando muros y cubiertas, se describen a continuación.

³ Palabra utilizada para designar zonas altas.

Material predominante en techos Entidad	Viviendas 410,388	Ocupantes 1,877,280
Material de desecho	0.6	0.6
Lámina de cartón	1.8	1.8
Lámina de asbesto o metálica	52.6	53.5
Palma, tejamanil o madera	4.0	4.2
Teja	11.0	12.1
Losa de concreto, tabique, ladrillo y terrado con vigería	29.5	27.3
No especificado	0.4	0.5

NOTA: Excluye refugios y sus ocupantes, así como a las viviendas sin información de ocupantes y la estimación de habitantes de estas últimas.

FUENTE: INEGI. *Tabulados Básicos. Estados Unidos Mexicanos. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000* México, 2001.

Tabla 4. Viviendas particulares habitadas, sus ocupantes y su distribución porcentual según material predominante en techos, 2000.

Material predominante en paredes Entidad	Viviendas 410,388	Ocupantes 1,877,280
Material de desecho	0.6	0.6
Lámina de cartón	0.8	0.7
Lámina de asbesto y metálica	4.0	3.8
Carrizo, bambú y palma	6.9	7.3
Embarro y bajareque	0.1	0.1
Madera	9.1	9.5
Adobe	0.1	0.1
Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento y concreto	78.0	77.4
No especificado	0.4	0.4

NOTA: Excluye refugios y sus ocupantes, así como a las viviendas sin información de ocupantes y la estimación de habitantes de estas últimas.

FUENTE: INEGI. *Tabulados Básicos. Estados Unidos Mexicanos. XII Censo General de Población y Vivienda, 2000* México, 2001.

Tabla 5. Viviendas particulares habitadas, sus ocupantes y su distribución porcentual según material predominante en paredes, 2000.

De los datos anteriores se puede apreciar en primer lugar las viviendas que utilizan la cubierta en base a lámina metálica o de asbesto, seguida por la cubierta de losa de concreto, ladrillo o vigería. Y para el caso de los muros el predominio lo mantienen los elaborados en base a tabique, block, piedra, cantera

cemento o concreto. Cabe mencionar que la construcción realizada en este tipo de clima, se encuentra sujeta a un alto contenido de humedad en el ambiente, motivo por el cual la envolvente se ve afectada al ser atacada por algas y musgos que tienden a influir en las características térmicas

de los materiales constructivos (ver imagen 10 y 11), al deteriorar y transformar una superficie (ya sea gris o café) con un cierto índice de reflexión a la radiación solar incidente, en otra totalmente negra con un alto índice de

absorción a la radiación infrarroja (Calor).



Imagen 10. Muros y techumbres sufren el ataque de hongos debido a la humedad presente en el ambiente.



Imagen 11. Prácticamente los muros se transforman en cuerpos negros debido al deterioro provocado por la humedad.

VARIABLES CLIMÁTICAS

Como variable climática se presentan los gráficos de temperatura, Humedad Relativa, Vientos y Radiación solar, que son las variables de mayor influencia sobre el aspecto confort térmico de una región según Victor Olgyay, en su libro *“Arquitectura y Clima”*. Así que para la Ciudad de Villahermosa tenemos:

Estación	Periodo	Temperatura promedio	Temperatura del año más frío		Temperatura del año más caluroso	
			Año	Temperatura	Año	Temperatura
Teapa	1981-1999	25.9	1997	25.6	1982	26.5
Villahermosa	1969-1999	26.9	1996	26.3	1986	28.2
San Pedro	1969-1999	27.9	1989	23.0	1998	29.0

FUENTE: CNA. Registro Mensual de Temperatura Media en °C.

Tabla 6. Temperatura Media Anual Villahermosa, Tabasco.

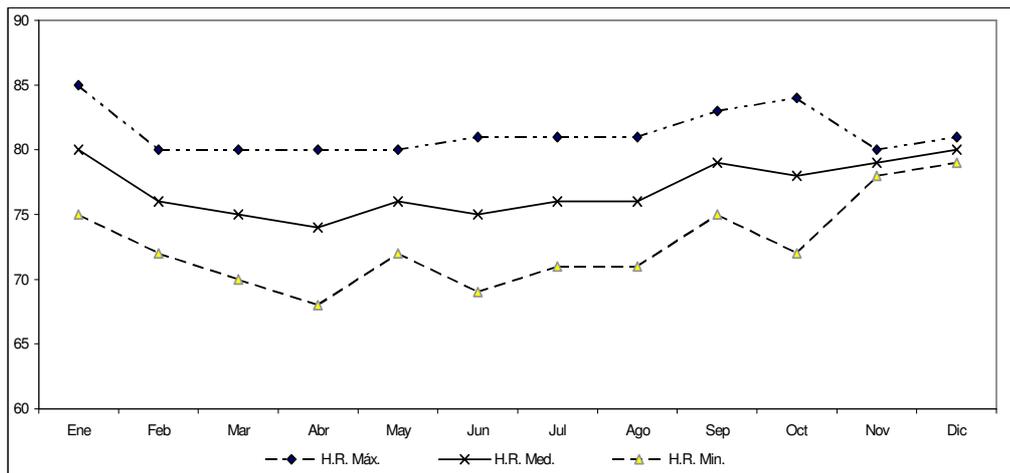


Gráfico 2. Humedad relativa.

MESES												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
HR. Máx.	85	80	80	80	80	81	81	81	83	84	80	81
HR. Med.	80	76	75	74	76	75	76	76	79	78	79	80
HR. Min.	75	72	70	68	72	69	71	71	75	72	78	79

Tabla 7. Datos de Humedad Relativa: Máxima, Media y Mínima.

	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Mj/m2	12,8	14,9	17	17	17	17	17	17	17	17	12,8	12,8

Tabla 8. Promedio de radiación recibida mes a mes en Mj/m2, en Villahermosa Tabasco.

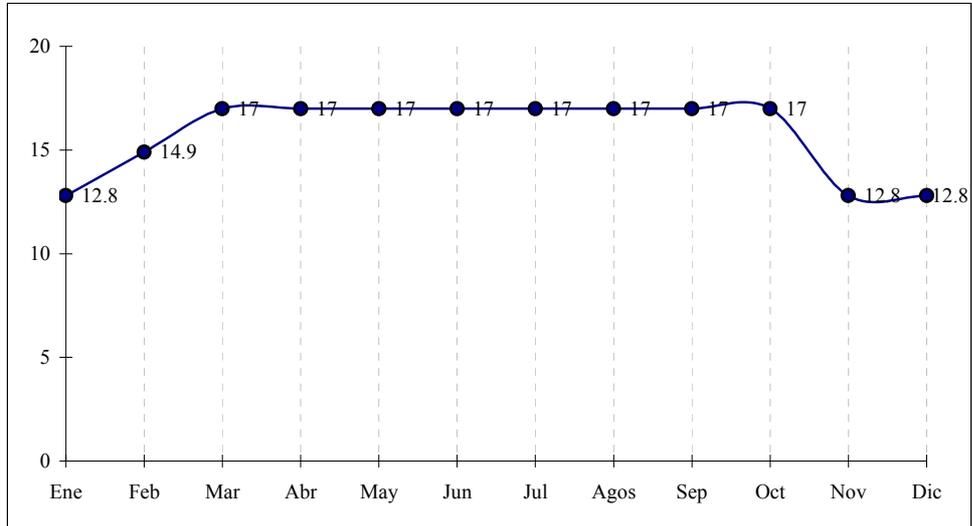
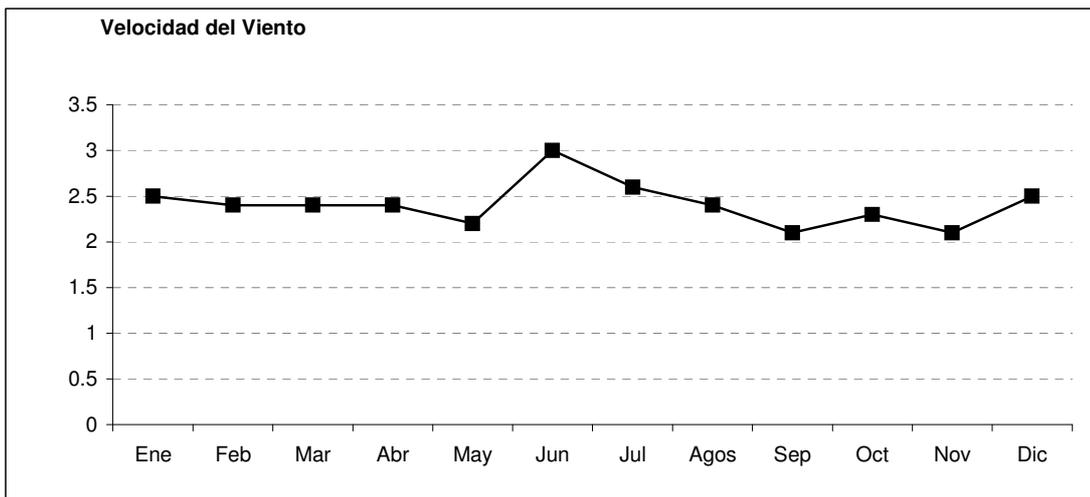
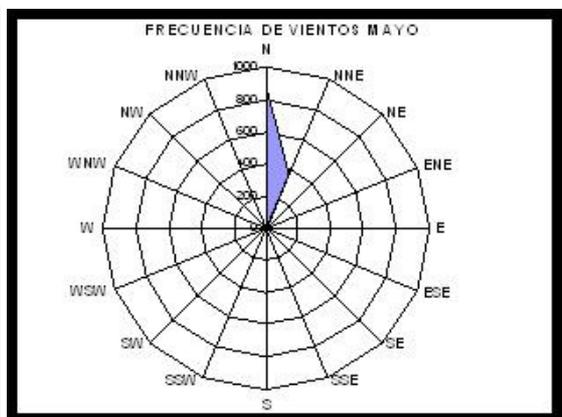
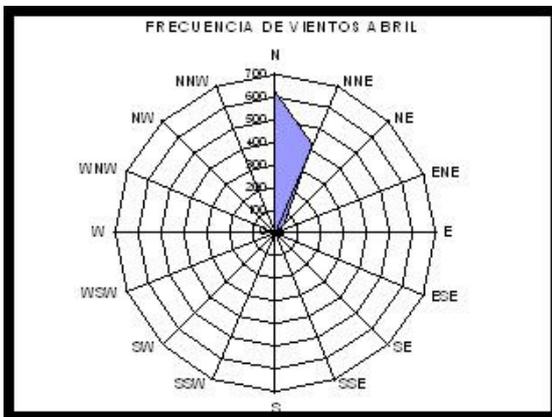
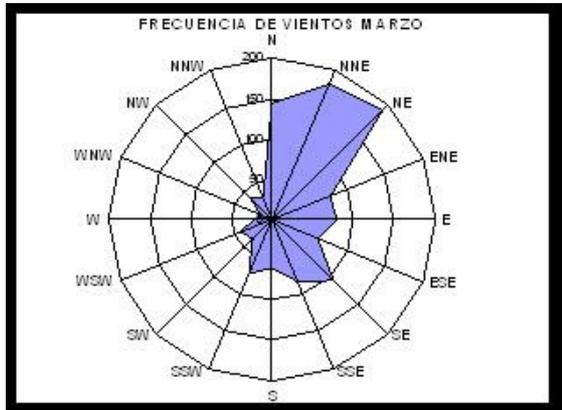
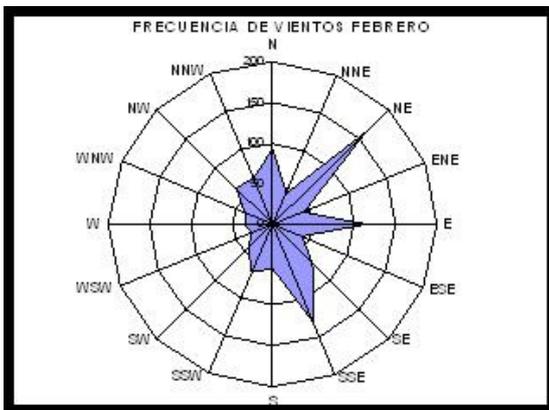
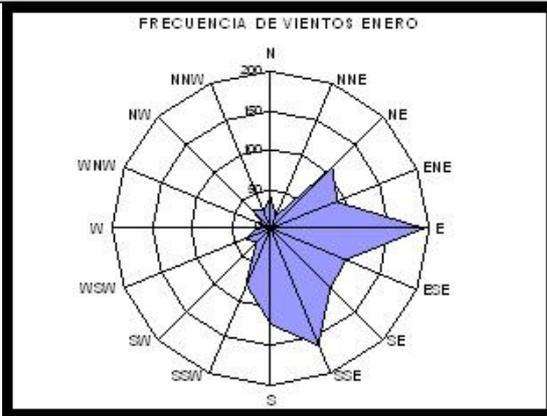
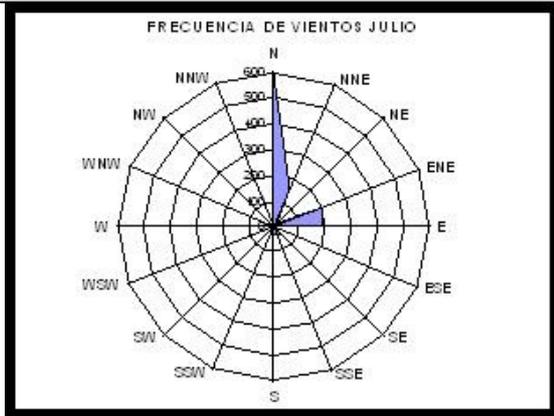
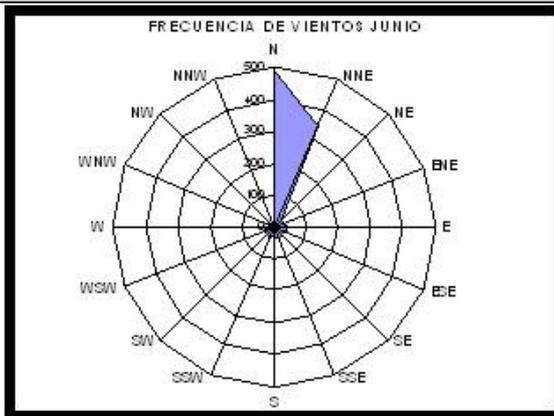


Gráfico 3. Megajoules sobre metro cuadrado (MJ/m²).

Dirección y Velocidad del Viento







Gráficos 4 - 11. Fuente: Estación Meteorológica del Centro de Investigación y Postgrado, de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



Imagen 12. Estación meteorológica del Centro de Investigación de la División Académica de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

La frecuencia de vientos presentes durante los meses de Mayo a Julio, indican una dirección básicamente del Norte; mientras en lo que respecta a

la velocidad alcanzan entre los 2.2 y los 3 m/s. Aparentemente el recurso de viento es satisfactorio. Posteriormente estos valores se contrastaran con un día crítico, debido a la ausencia de viento.

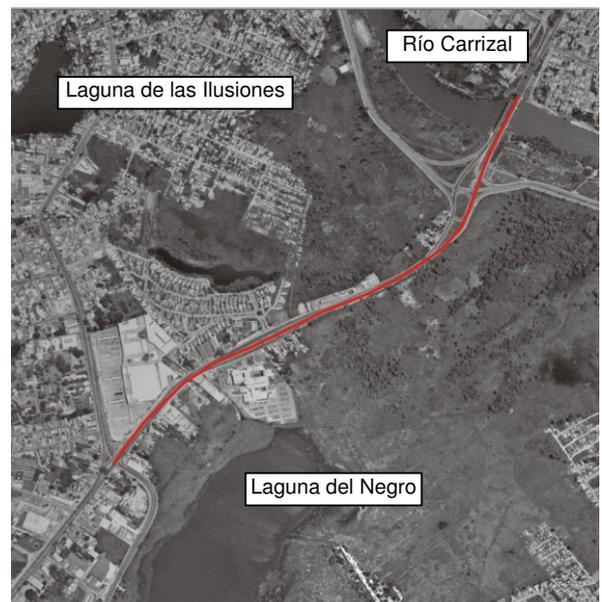


Imagen 13. Cuerpos de agua delimitantes al Noreste de la ciudad.

CAPITULO III.- EL CALOR Y LA CHIMENEA SOLAR.

El **calor**, es la energía térmica que se encuentra en circulación de un elemento de mayor temperatura a otro de menor temperatura, por lo que hablar del calor contenido en un cuerpo, no es correcto, debido a su naturaleza circulante. El que se pueda describir a un cuerpo como caliente o frío, es debido a la energía cinética (movimiento) de sus moléculas. La sensación de calor es debido al mayor movimiento que tienen las moléculas de un cuerpo, en comparación a la lentitud de las moléculas de un cuerpo que podemos percibir como frío. La sensación corporal de frío o calor se produce al dar o recibir energía, respectivamente. Nuestros sentidos establecen instantáneamente una comparación con el entorno que determina un desequilibrio o un equilibrio respecto a las ganancias o pérdidas de energía. A la propiedad de un material de estar o no estar en equilibrio térmico con otros se le llama **temperatura**. De aquí la diferencia esencial entre calor y temperatura. El primero es energía que se transfiere, y la segunda es una propiedad que mide

el nivel de desequilibrio térmico. El entendimiento de los procesos de transferencia de calor nos introduce en los conceptos básicos, que nos ayudarán a comprender como podemos utilizar estos proceso al intentar lograr el confort térmico en el interior de una edificación.

"Aun cuando la termodinámica predice el intercambio de calor en un sistema al realizar un proceso, ésta es incapaz de predecir el tipo de mecanismo mediante el cual la transferencia de calor se lleva acabo. Así, una mera aplicación de las leyes de la termodinámica en un intercambiador de calor nos da la información necesaria con respecto al flujo que debe transferirse del fluido caliente al frío. Pero la termodinámica no suministra información respecto al área, espesor, materiales y diseño de los espacios. Estas características se obtienen mediante un análisis detallado de transferencia de calor".¹

¹ Morillón Gálvez David; Bioclimática. Sistemas Pasivos de Climatización; pág. 27.

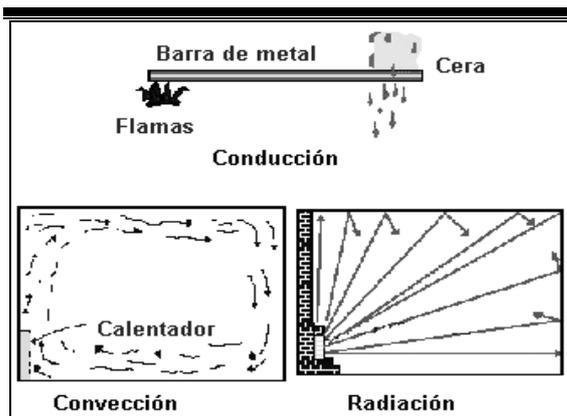


Imagen 14 . Procesos de transferencia de calor.

Quando un material es calentado por la radiación solar, con toda su gama de radiaciones, intenta encontrar su equilibrio con el entorno, a través de tres procesos básicos de transferencia de calor, como son: conducción, convección y radiación.

CONDUCCIÓN.- Cuando un cuerpo absorbe la radiación solar, la energía absorbida se distribuirá por sí misma dentro del material desplazándose por conducción de molécula a molécula. La conducción es el proceso por el que la energía se intercambia entre moléculas a través de una sustancia (materia), o entre dos sustancias en contacto físico, por interacción molecular directa. Las moléculas más calientes chocan entre ellas y transfieren parte de su energía vibratoria a las moléculas adyacentes.

La dirección del flujo de calor siempre sucede del más caliente al más frío.

Quando las moléculas de la superficie del material se calientan con la radiación solar o proveniente de cualquier otra fuente radiante, transmiten su energía a las moléculas contiguas hasta alcanzar una uniformidad de temperaturas. De ahí que la transferencia de calor por conducción sea de particular importancia en sólidos sujetos a una diferencia de temperaturas.

La velocidad de propagación del flujo térmico en una sustancia, o sea su conductividad térmica (k), depende de la capacidad de sus moléculas y de sus electrones para recibir y transmitir calor. La termodinámica intenta dar una explicación al proceso de transferencia por conducción, de la siguiente manera².

² Morillón Gálvez David; Op. Cit. Pág. 28.

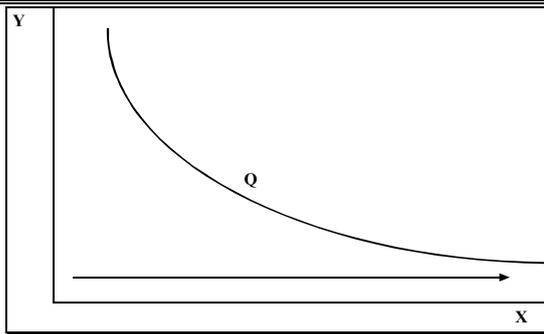


Imagen 15. Perfil de temperatura. La transferencia de calor Q, se efectúa de cuerpos de mayor temperatura a cuerpos con menor temperatura.

$$Q = -k \cdot A \cdot (\Delta T / X)$$

ΔT = Gradiente de temperatura

k = Conductividad térmica

A = Superficie

En donde Q denota el flujo de calor por unidad de área o densidad de calor en la dirección x, y k es la conductividad térmica del material. Las unidades de ésta son W / m °K (watts metro grado kelvin)³.

El signo negativo en la ecuación es utilizado de tal manera que se cumpla la segunda ley de la termodinámica, es decir, que el calor fluya de mayor a menor temperatura. A dicha ecuación se le conoce como la ley de Fourier de conducción de calor, y su expresión define la conductividad térmica k. Cuando los materiales tienen

una alta conductividad térmica se les denomina conductores, mientras que los que tienen una conductividad baja se les denomina aislantes. Así que es posible determinar la transferencia de calor por conducción, siempre y cuando sean conocidos el gradiente de temperatura (ΔT) y la conductividad térmica (k).

CONVECCIÓN.- Se define como: La transferencia de calor entre una superficie y un fluido móvil o, como el transporte de calor en un fluido por movimiento de sus moléculas de un punto a otro. En los procesos convectivos el calor se desplaza como siempre de las zonas más calientes a las más frías. Cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre las dos sustancias, con más rapidez se transmitirá el calor.

La conducción entre la superficie del material y el fluido es el inicio del proceso de intercambio térmico, pero cuando el fluido se calienta, se expande, se convierte en menos denso y se desplaza hacia arriba. Cuando las moléculas calientes del fluido suben, se reemplazan por moléculas más frías y

³ Unidad en el Sistema Internacional de Unidades.

resulta un movimiento continuo del fluido. Cuando sólo el calor es el responsable de este movimiento, el fenómeno se llama convección natural.

Nuestro cuerpo para disipar el calor que produce se ayuda de éste fenómeno de transferencia de calor. La mayor disipación de calor corporal se efectúa mediante la superficie de nuestra piel. Por lo que es común que disminuyamos la cantidad de ropa sobre nuestro cuerpo, cuando nos encontramos en climas cálidos, exponiendo nuestra piel a que sufra las mayores pérdidas de calor mediante este proceso. En el caso contrario, en climas de carácter frío, se evita a toda costa que se pierda el calor producido por el metabolismo, y por lo tanto tendemos a usar ropa más gruesa para aislarnos del frío.

Si la circulación del fluido junto a la superficie se acelera, la velocidad de la transferencia convectiva de calor se incrementa.

Ahora si las moléculas de aire caliente en contacto con el líquido son expulsadas y reemplazadas por

moléculas más frías, capaces de absorber más calor, mediante una fuerza externa. A este proceso se llama convección forzada. Un claro ejemplo de convección forzada la percibimos cuando nos exponemos a una corriente de viento, y la corriente en derredor de nuestro cuerpo sería muy parecida al inciso (b), de la siguiente figura. La corriente rodearía nuestro cuerpo y las pérdidas por convección se verían incrementadas.

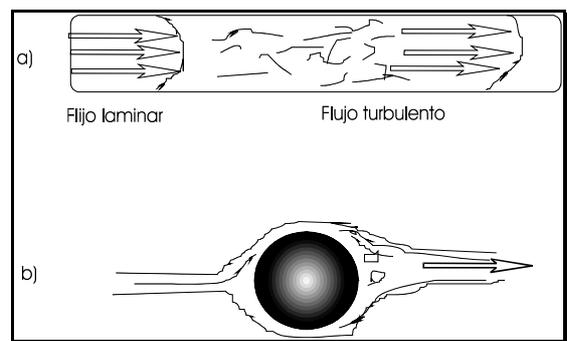


Imagen 16. Flujo forzado en una tubería. En la sección inicial el flujo es laminar debido a la entrada en forma de campana, pero se vuelve turbulento corriente abajo. Flujo forzado alrededor de un cilindro.

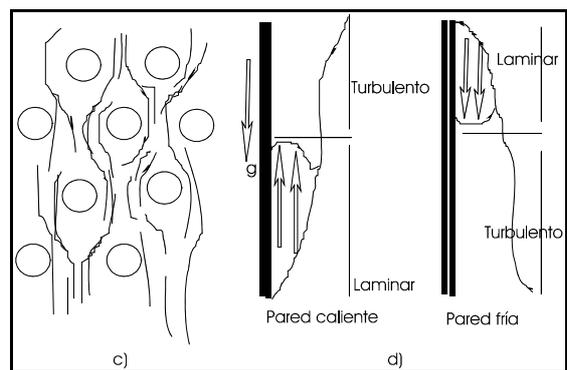


Imagen 17. Flujo forzado a través de un haz de tubos como los que se encuentran en un intercambiador de calor de coraza de tubos. Y capas límite laminar y turbulenta en la convección natural sobre paredes verticales.

El inciso (d), correspondería al comportamiento que se presenta en las paredes de una habitación, todo esto, dependiendo de la temperatura de la propia pared y de la temperatura ambiente.

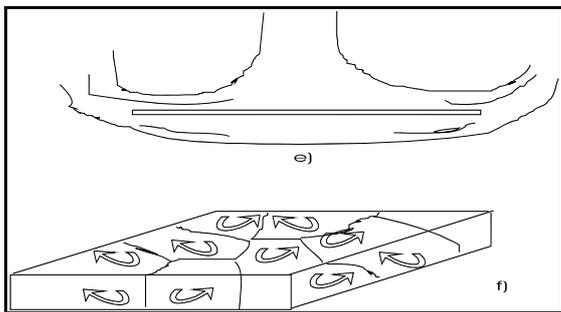


Imagen 18. Convección natural laminar alrededor de una placa horizontal calentada. Y convección natural celular en una capa horizontal de fluido confinado.

RADIACIÓN. Todos los materiales radian energía continuamente en todas direcciones, debido al movimiento vibratorio continuo de sus moléculas (medido por su temperatura) en su superficie. A diferencia de la radiación solar, que consiste en una radiación de corta longitud de onda emitida a temperatura muy alta, la radiación térmica terrestre que notamos como intercambio radiante de calor, consiste en una radiación infrarroja de onda larga emitida a una temperatura mucho más baja.

El flujo o cantidad de energía térmica que radia un material depende de la temperatura de la superficie radiante. La emisión de energía térmica de una superficie depende no sólo de la temperatura superficial, sino también de las cualidades de **emisividad** de la superficie. En general, la mayoría de los materiales son buenos emisores de radiación. La emitancia de un material es un indicador de su facilidad emisora de radiación térmica.

Por lo general, las superficies muy pulidas, como las de metales brillantes, emiten una débil radiación térmica. Esto significa que emiten poca energía radiante y poco calor para una temperatura dada. Sin embargo, no todos los materiales absorben la radiación térmica, algunos la reflejan y/o la transmiten.

La capacidad de una superficie para reflejar la radiación térmica dependerá más de la densidad y la textura de su superficie que de su color. Así como el color es un indicador válido del poder de reflexión a la radiación

solar, es un mal indicador de la facilidad para reflejar la radiación térmica.

En general, solo las superficies muy pulidas o brillantes, como el papel de aluminio, reflejan gran proporción de la radiación térmica que interceptan. **La cantidad de radiación térmica que puede absorber una superficie, depende del ángulo de incidencia.**

Dos superficies paralelas intercambiarán un máximo de radiación de esta forma, pero sí éstas se encuentran inclinadas una respecto a la otra, el intercambio disminuye⁴. Los materiales que transmiten la radiación solar visible no transmiten necesariamente la radiación infrarroja.

El vidrio, que prácticamente deja pasar toda la radiación solar visible, y por otra parte, absorbe la mayor cantidad de la radiación infrarroja que intercepta, es al parecer un material que cumple con buenas cualidades para utilizarse como un buen captador solar, y esto es razonable si consideramos

que los colectores solares planos de baja temperatura utilizan este material⁵.

Las pérdidas de calor metabólico del cuerpo mediante este fenómeno de radiación, se ven restringidas a la temperatura corporal, y el porcentaje de pérdidas por medio de este proceso alcanzarían el 60%⁶.

Los procesos de transferencia de calor resumen los cambios energéticos a los que esta sometida la generalidad de los componentes de la estructura de una edificación; estos mismos procesos se repiten en el ser humano, las pérdidas de calor metabólico siguen estos mismos procesos sólo que a una escala menor.

El impacto que sufre el cuerpo en cuanto a la apreciación del confort térmico dentro de un espacio cerrado, se encuentra ligado a las pérdidas de calor del cuerpo por convección o por evaporación de las secreciones corporales, específicamente el sudor. Los mecanismos de transferencia de

⁴ Éste párrafo se toma para ciertas suposiciones a realizar en modelos a escala.

⁵ Al igual que el párrafo citado con anterioridad se considerará más adelante.

⁶ Notas del Curso de Actualización en Energía Solar; CIE ; Temixco Morelos; pág. 66.

calor por convección se ven reflejados en el principio de funcionamiento de la chimenea solar.

El conocimiento de cómo influye una corriente de aire en la transferencia de calor por convección sobre una placa, ya sea horizontal o vertical, da la pauta para considerar que una chimenea solar, distribuida de tal forma que capte la mayor radiación solar, generaría una mayor diferencia de temperatura en el interior de ella, y si la temperatura de esta chimenea se encuentra íntimamente ligada con su eficiencia, da la aseveración del desarrollo de este capítulo.

Los procesos que involucren la transferencia de calor por radiación, se verán involucrados en el hecho de que si consideramos instalar un sistema como el mencionado, repercutirá en los aportes que puedan suscitarse por este medio, o bien, de las modificaciones energéticas que se puedan suscitar debido a los materiales bajo los cuales esta constituida la chimenea solar.

Los materiales que intervienen en la elaboración de la chimenea, ya sean

opacos o translúcidos, se definen en función de generar una diferencia de temperatura máxima, a partir de las características térmicas de los materiales y de los procesos de transferencia de calor bajo los cuales puedan estar sometidos. Que resulten en curvas de comportamiento general de un prototipo.

Cualquier alteración a la conformación de un espacio cerrado, generara intercambios de calor en mayor o menor grado, en función a las pérdidas de calor por convección, radiación o conducción. La capacidad del funcionamiento de una chimenea solar, se encuentra ligada a dos factores, el primero es generar una diferencia de temperatura grande, en función de un captador solar, y la otra, la introducción de aire fresco. El hablar de la introducción de aire fresco se encuentra relacionado con las características climáticas prevalecientes en el lugar, ya que si la temperatura del aire exterior es superior a la temperatura interior, causara un efecto de calentamiento interno.

Las condiciones de humedad, por no poseer el equipo adecuado se tomaran, de datos generados por el Centro Meteorológico Nacional, dentro de los horarios de que se dispongan para los días de medición, o en su defecto para días con temperaturas similares a los registrados. Mientras que si sucede que el aire exterior es más fresco, el consecuente efecto será de enfriamiento. Bajo ciertas circunstancias de baja humedad se podría combinar un sistema de humidificación del aire exterior, con el objeto que al ser introducido en una habitación se suceda un efecto de enfriamiento del aire por evaporación. La circulación de aire dentro de una habitación, provoca la refrigeración tanto de ocupantes, como de la propia estructura del edificio; a sí que sí la corriente evacuada que pueda provocar el sistema, es equivalente a una corriente de aire que penetra en un espacio, se puede traducir en beneficios en cuanto al confort térmico de los ocupantes de un espacio; de esta forma es como se pretende llegar a conocer cual es la capacidad de enfriamiento de un sistema como este. Estos mecanismos de transferencia nos llevan a la búsqueda de cuales son los

mecanismos reguladores de temperatura del cuerpo, y de cómo es posible mitigar las sensaciones térmicas bajo las cuales el cuerpo se encuentra sometido, bajo condiciones regionales o locales experimentadas.

FENÓMENOS ASOCIADOS A UN ESPACIO

Uno de los primeros fenómenos que deben considerarse es el del confort experimentado en cualquier espacio construido. El rango de confort establece los parámetros de temperatura entre los cuales las personas de una zona o región determinada tienden a manifestar condiciones de comodidad térmica, aunque como lo establece Serra Florensa, el confort debe alcanzar tres niveles como son: **el lumínico, térmico y acústico**. Para establecer estos rangos se utilizó la ecuación propuesta por Auliciems, con algunas modificaciones que se explican a continuación.

Los rangos de confort (1 y 2), obtenidos mediante la siguiente ecuación⁷:

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

En donde T_n , se ha considerado la temperatura media de cada mes.

A diferencia de solo considerar la temperatura del mes más caluroso tal como lo establece Auliciems, se considera una apreciación más fiel de la aclimatación que se experimenta por las variaciones estacionales a lo largo del año, y se considera la media mensual. (Ver grafico 12).

El plantear la utilización de un sistema de ventilación inducida, conduce a investigar los procesos de transferencia de calor, este estudio se centra en conocer como se comporta una chimenea solar dentro de un clima cálido húmedo.

Para comprender los fenómenos de transferencia de calor que pueden presentarse en un espacio atendemos a la siguiente figura.

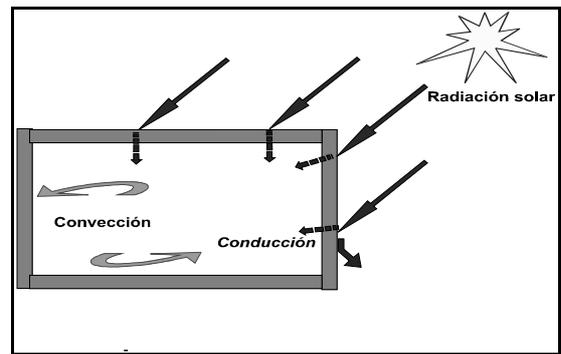


Imagen 19. Principios de transferencia de calor.

Haciendo la simplificación de un espacio arquitectónico cerrado, la radiación solar generaría los siguientes fenómenos de transferencia de calor.

La radiación solar incidente al impactar sobre muros (opacos y transparentes) y techumbres (opacas y transparentes), parte de la energía es absorbida por estos elementos de la envolvente y parte reflejada debido a las características propias del material con el cual estén contruidos.

⁷ Formula propuesta por Auliciems 1990; Morillón Galvez D, Mejía Domínguez D.; Modelo para el diseño y evaluación del control solar en edificios; pág. 30.

Datos de temperatura promedio: Máxima, Media y Mínima.

MESES												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tem. Máx.	29.2	31.6	33.5	35.5	36.5	36.0	35.3	36.0	35	33.4	31.5	30.1
Tem. Med.	24.0	31.6	27.2	29.1	29.9	29.7	29.2	29.6	28.9	27.7	26.1	24.8
Tem. Min.	18.8	25.6	21.0	22.8	23.4	23.4	23.2	23.2	22.9	22.1	20.8	19.5
Confort 1	27.54	28.04	28.53	29.12	29.37	29.31	29.15	29.28	29.06	28.69	28.19	27.79
Confort 2	22.54	23.04	23.53	24.12	24.37	24.31	24.15	24.28	24.06	23.69	23.19	22.79

Tabla 9. Determinación del rango de confort para Villahermosa Tabasco.

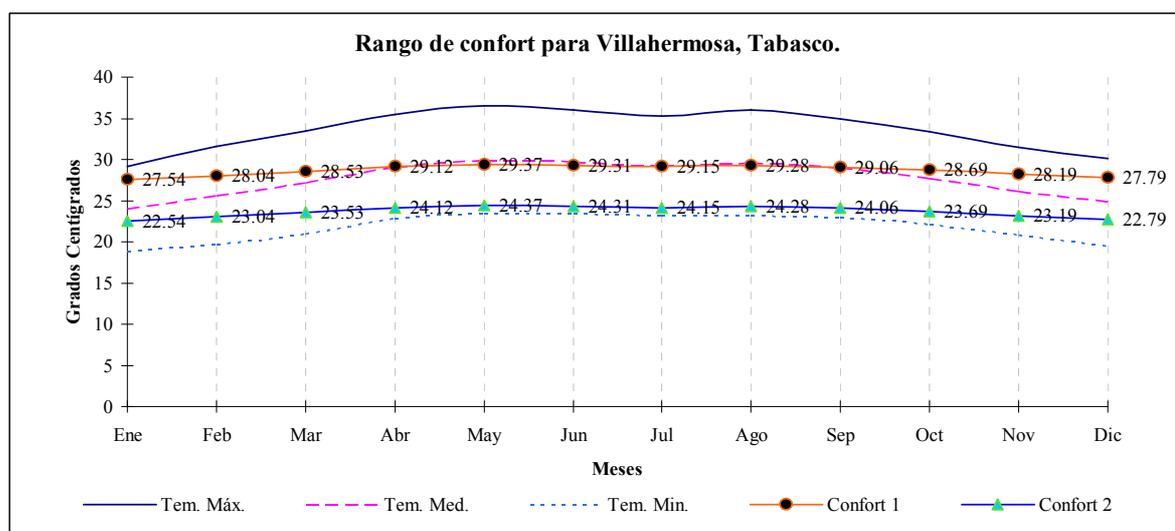


Gráfico 12. Rango de confort Villahermosa.

De ello, Víctor Olgyay menciona que los elementos de mayor aporte térmico hacia el interior del edificio son: el techo y las ventana. El calor transmitido por muros y techumbres, al tener contacto con las moléculas de aire interior, más cercanas a estos, genera un aumento de la energía cinética de las moléculas de aire, consiguiendo un desplazamiento de carácter convectivo.

El calor ganado en el interior del espacio provoca una disminución de la densidad del aire, y por consiguiente genera un aumento de la presión interna⁸.

Y cuando las condiciones externas han disminuido su temperatura, la estructura del edificio tiende a ceder calor a la atmósfera mediante pérdidas por radiación. Los

⁸ Efecto chimenea

arquitectos no consideran espacios completamente cerrados, como en el ejemplo anterior, por lo que abren vanos (comúnmente llamados ventanas), que después vuelven a cerrar con elementos que tienen la capacidad de dar cierto control de la ventilación del espacio⁹.

Si la ventana es de material translúcido o transparente sin la capacidad de algún desplazamiento, el espacio recibe luz y gana calor con mayor facilidad¹⁰.

Debido a la incidencia solar se recomienda según principios de diseño bioclimático evitar esta incidencia solar, directa en ventanas, para lo cual se recomienda la utilización de parasoles, cornisas, aleros, etc.

Si observamos bien, se presentan los mismos fenómenos de transferencia de calor como en el ejemplo anterior, sólo que en este caso, las ganancias o pérdidas de calor en el interior del espacio se ven modificadas. Para el

⁹ La ventilación de un espacio esta condicionada a la fuerza y dirección del viento; además de las características particulares de los patrones diarios de direccionalidad, y de los fenómenos de sombras de viento debidas a edificaciones altas, árboles, etc.

¹⁰ Cuando la radiación solar pasa a través de una superficie transparente, la radiación de onda larga (infrarroja) queda atrapada dentro del espacio.

caso anterior las pérdidas y ganancias de calor, suceden más o menos constantes en el transcurso del día.

Para el segundo caso, las ganancias son debidas a que los cristales permiten el paso de luz y calor con mayor facilidad que los muros durante el día, pero durante la noche el proceso se invierte, permitiendo la pérdida de calor por radiación hacia la atmósfera¹¹.

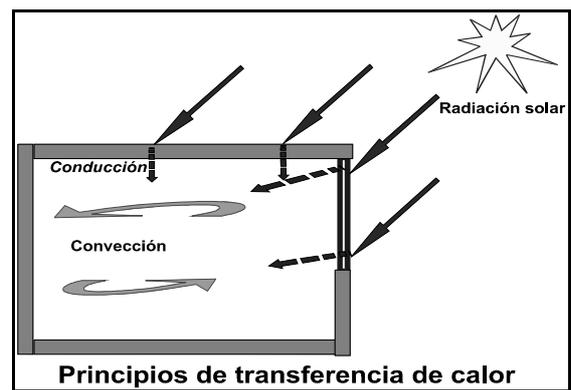


Imagen 20. La dinámica de estos procesos influye directamente en la apreciación del confort de una edificación.

En ambos casos hasta ahora no interviene el factor humano, pero veamos que sucedería con su presencia dentro de este espacio idealizado. La presencia del ser humano genera alteraciones en la concepción del espacio, y los procesos de transferencia

¹¹ Las pérdidas de radiación hacia la atmósfera, son más eficientes con cielos despejados.

de calor sufren modificaciones, pero el espacio no es apreciado de igual manera.

Este espacio debe proveer al ocupante, protección para con el medio ambiente que le rodea, esto es, debe protegerlo de la lluvia, el frío, la incidencia de radiación solar, y demás agentes meteorológicos que en un determinado momento pudiesen sucederle.

Ahora este espacio necesita contar con aperturas que faciliten su ventilación, ya que no se puede permitir que el espacio se sobre caliente, o pierda gran cantidad de calor durante la noche, o durante la temporada de invierno, en este caso el confort térmico debe ser satisfactorio para sus ocupantes.

Atendiendo al hecho que la parte experimental se realiza en la ciudad de Villahermosa Tabasco, el rango de confort térmico para los meses de mayo y junio se localizan entre los 24.96 °C a 29.96 °C y 24.96 °C a 28.66 °C respectivamente. Y los datos estadísticos de las máximas temperaturas que se registran para

estos meses se traducen en requerimiento mayor en cuanto a las necesidades de enfriamiento del edificio.

La construcción contemporánea común se ve rebasada en cuanto a esta exigencia, las necesidades básicas de resguardo y abrigo se cumplen, pero las exigencias de enfriamiento se solucionan con equipo electromecánico. Así que la edificación se vislumbra en niveles muy bajos de eficiencia en el mejor de los casos, y en el peor se va muy por debajo de la escala.

Debido a la mala utilización de los recursos ambientales favorables como la ventilación natural, o al desafortunado cambio en el patrón de este recurso debido a la densidad de construcción dentro de la ciudad.

El voraz cambio en la concepción de la vivienda por cuestiones de insensibilidad al medio (ver tabla 4 y 5), los factores económicos, culturales y políticos han hecho de la vivienda con identidad Tabasqueña, solo vagos recuerdos del como se construía y vivía, al considerar las inundaciones, y del salir por las tardes como lo llaman en este lugar "ha tomar el fresco de la

tarde”, en aquellos pórticos que protegían el interior de la vivienda de la incidencia de la radiación solar, o bien el cambio en el uso de materiales de la zona sobre explotados, para construcción de techos, ha traído como consecuencia la utilización de láminas a base de asbesto y metal que lo único que hacen es evitar el paso de la lluvia mientras se transforman en estufas térmicas a los espacios dedicados a la vivienda.

LA DIFICULTAD DE LA VENTILACIÓN NATURAL COMO ESTRATEGIA

La refrigeración a base del viento¹² es el medio más eficaz y económico, en la generalidad de los climas en donde sea necesaria, y muy en particular de zonas ubicadas en climas tropicales, por lo que se han llevado a cabo una gran cantidad de estudios relacionados con este tema. La ventilación es el medio más económico para climatizar naturalmente un espacio, pero, ¿Que es lo que sucede cuando no

contamos con este recurso?, o se sufre de sombras de viento motivadas por edificios altos, árboles, etc., o en caso que el viento sea de características desfavorable para climatizar un espacio¹³. Para evaluar si los patrones de viento que se presentan en la ciudad de Villahermosa durante el mes de mayo, son lo suficientemente intensos como para establecer una estrategia a partir de ventilación natural, se eligió el día 20 de mayo, dentro del mes más caluroso, el cual se encuentra presentando datos horarios de velocidad y dirección de los vientos dominantes. (Ver tabla 10).

Si observamos el registro las velocidades registradas suceden dentro del promedio de los 0.6 m/s, siendo una velocidad de vientos dominantes catalogada dentro de un movimiento suave y efectivo, como ventilación natural.

¹² El viento es el desplazamiento de masas de aire por diferencia de temperatura.

¹³ El viento puede acarrear polvo o contaminantes; su temperatura puede exceder la temperatura de la superficie de la piel, y contrarrestar su poder de enfriamiento.

Viento dominante		
Hora	Dirección	Velocidad m/s
1	NNE	0.6
2	NNE	0.8
3	NNE	0.6
4	NE	0.6
5	ENE	0.6
6	ENE	0.6
7	ENE	0.6
8	ENE	0.3
9	ENE	0.3
10	ENE	0.3
11	ENE	0.3
12	ENE	0.3
13	ESE	0.6
14	ENE	0.6
15	NE	0.6
16	NE	0.3
17	NE	0.3
18	N	0.6
19	N	0.6
20	N	0.6
21	N	0.6
22	N	0.6
23	N	0.6
24	N	0.6

Tabla 10. Datos obtenidos del Centro Meteorológico Nacional, para el día 20 de mayo de 1997.

Velocidad	Unidad	Efectos
Hasta 0.25	m/s	No se percibe.
0.25 – 0.5	m/s	Comienza apenas a sentirse.
0.50 – 1.0	m/s	Movimiento del aire muy suave, efectivo y agradable en tiempo cálido y húmedo.
1.0 - 1.65	m/s	Brisa.
1.65 – 3.30	m/s	Máxima velocidad agradable sin efectos indeseables en trabajo de oficina.
3.30 – 5.00	m/s	Puede comenzar a resultar molesto: los papeles comienzan a volar (3.30 m/s marca el tope deseable de velocidades en espacios interiores).
5.00 – 10.00	m/s	Viento moderado.
10.00 – 15.00	m/s	Viento fuerte a muy fuerte.
Más de 15.00	m/s	Vendaval.

Tabla 11. Velocidad de vientos y percepción de sus efectos.

Si comparamos estas velocidades con la siguiente tabla 11 generada por Fernando Tudela, tenemos que las velocidades para el día en cuestión apenas si se encuentran dentro de las condiciones satisfactorias, a esto habría que agregar los obstáculos a los cuales se encuentran sometidas las corrientes de aire cuanto más rasantes al suelo se encuentren.

APLICACIONES DE LAS CHIMENEAS SOLARES Y EL EFECTO “STACK” EN ARQUITECTURA

“Por lo que respecta a la Arquitectura con una especial sensibilidad ecológica destacan aquellas obras que recurren a las formas y tipos más fácilmente adaptables al medio y

con más capacidad para relacionarse con las energías del entorno: Piel permeables y versátiles como membranas, galerías exteriores, patios interiores, edificios en forma de invernaderos, geometrías de cristal y formas escalonadas para aprovechar al máximo la energía del sol, edificios semienterrados y dispersos, estructuras ligeras, reciclables y nómadas.”¹⁴

La Arquitectura bioclimática trata exclusivamente de involucrar al diseño arquitectónico (orientaciones, materiales, aperturas de ventanas, etc.) para contribuir en la eficiencia energética del edificio. Para las personas interesadas en este tipo de Arquitectura alternativa para algunos se encontrará, sin embargo, con otros términos que pueden tener relación con lo que estamos hablando.

- **Arquitectura solar pasiva.** Hace referencia al diseño de la casa para el uso eficiente de la energía solar.

Puesto que no utiliza sistemas mecánicos, está íntimamente relacionada con la Arquitectura

bioclimática, si bien esta última no sólo involucra la energía solar, sino a otros elementos climáticos.

- **Arquitectura solar activa.** Hace referencia al aprovechamiento de la energía solar mediante sistemas mecánicos y/o eléctricos: colectores solares (para calentar agua o para calefacción) y paneles fotovoltaicos (para obtención de energía eléctrica). Pueden complementar la edificación bioclimática.
- **Arquitectura sostenible.** Esta Arquitectura reflexiona sobre el impacto ambiental de todos los procesos implicados en una edificación, desde los materiales de fabricación (obtención que no produzca desechos tóxicos y no consuma mucha energía), las técnicas constructivas (que supongan un mínimo impacto ambiental), la ubicación del edificio y su impacto en el entorno, el consumo energético, y el reciclado de los materiales cuando el edificio ha cumplido su función y se derriba. Es, por tanto, un término muy general dentro del cual se puede incluir a

¹⁴ Joseph Maria Montaner; Op. Cit. Pág. 263.

la Arquitectura bioclimática como alternativa para reducir el impacto del consumo energético del edificio.

- **Casa autosuficiente.** Se refiere a las técnicas para lograr un cierto grado de independencia respecto a las redes de suministro municipal (electricidad, gas, agua, e incluso alimentos), aprovechando los recursos del entorno inmediato (agua de pozos, de arroyos o de lluvia, energía del sol o del viento, paneles fotovoltaicos, huertos, etc.). La Arquitectura bioclimática colabora con en la eficiencia en lo que se refiere al suministro de energía.

Dentro del campo de la Arquitectura la aplicación de este sistema se ha empleado con acierto dentro de las cuestiones estéticas y formales del diseño arquitectónico, los procesos y principios de su aplicación no se disocian o contraponen a estos aspectos. En la imagen siguiente la aplicación de este concepto, es tiene objeto de suministrar carga térmica al interior del edificio, funcionando exclusivamente para calefacción.



Imagen21. Chimenea solar como aplicación para calefacción.

Pero como ya se había mencionado este sistema, tiene aplicaciones de inducción de aire, y en la imagen siguiente se muestra esta aplicación de forma esquemática.

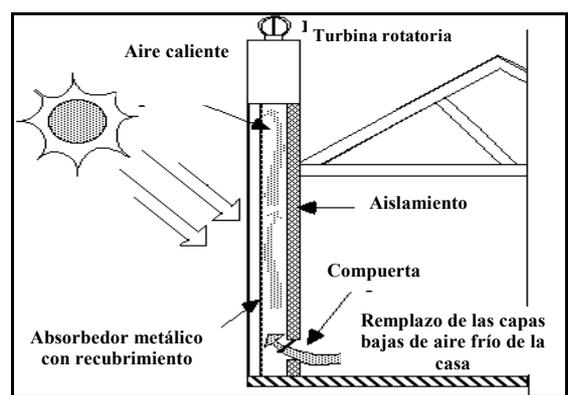


Imagen 22. Aplicación de una chimenea solar a una bodega.

Se trata de inducir la salida de aire a través de la fachada irradiada por el sol; en este ejemplo la succión se realiza por la parte baja de la chimenea, al calentar el aire contenido en ella se vuelve más ligero y asciende fuera de la nave, así mismo se puede observar la turbina eólica instalada en su parte alta, de tal forma que se vuelve más eficiente el sistema al recibir ayuda de la corriente de viento incidente en la turbina.

Efecto stack. Se refiere a la estratificación de las capas de aire, motivadas por diferencia de temperatura, que marca densidades diferentes provocando desplazamientos de aire debido a esta circunstancia. El efecto se aprovecha para el desalojo de masas de aire caliente, sin la utilización de medios mecánicos.

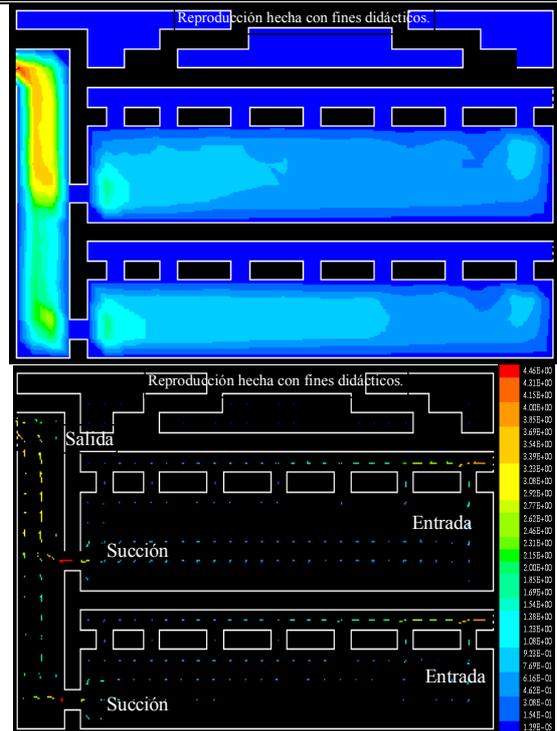


Imagen 23. Modelo matemático del efecto chimenea en una galería.¹⁵

Algunos ejemplos de técnicas de ventilación, aplicados en edificios, por arquitectos son:

Torre turbina de Richard Roger (Tokio).- *“Cuenta con un sistema de torres eólicas de captación y extracción, las cuales canalizan el viento captado hacia intercambiadores de calor en cisternas de aire frío; mientras el aire caliente del interior se canaliza a una gran torre de succión, que aprovecha el efecto stack (efecto de tiro), el cual se*

¹⁵<http://mudhole.spodnet.uk.com/~imp/venice/solar.html>

*incrementa por captadores solares en lo alto de la torre.*¹⁶

Renzo Piano, Centro Cultural de Nueva Caledonia, en Noumea.-

*“Edificación inmersa en un clima cálido húmedo. En este edificio se maximiza el efecto de la ventilación, el concepto de diseño le permite canalizar el aire fresco de la parte baja y arbolada del terreno. Además por estratificación térmica el aire sube y sale por las torres de extracción que se ubican en la parte más elevada del edificio y del terreno.”*¹⁷

Ford, Edificio de la Reina de la Universidad de Monfort en Gran Bretaña.-

*“Utiliza de manera importante la Ventilación Cruzada y efecto stack, aprovechando torres eólicas de extracción y extractores convectivos en los ápices de las cubiertas, mientras que el aire fresco es inducido por las partes bajas del edificio.”*¹⁸

El edificio sede de la compañía de telecomunicaciones Iónica en Cambridge.-*“Utiliza de manera*

*importante la ventilación natural. Esto se logra por el efecto stack formado en un atrio central he incrementado por captadores solares dispuestos en la parte más elevada del edificio, formando parte de los extractores eólicos. Los calentadores solares incrementan la diferencia térmica entre el aire fresco que entra y el aire caliente que es extraído, de tal manera que el efecto stack se intensifica creando una corriente de aire constante durante el día.”*¹⁹

¹⁶ Rodríguez Viqueira Manuel; Introducción a la arquitectura bioclimática; pág.112

¹⁷ Ibidem; pág 112

¹⁸ Ibid; pág. 113

¹⁹ Ib; pág 114.

CAPITULO IV.- ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE MODELOS

OBSERVACIÓN DEL FENÓMENO EN MODELOS A ESCALA

Para realizar la elección de un modelo de análisis se desarrollo en base a la utilización de modelos a escala (maquetas), buscando la observación directa del fenómeno de inducción de aire a través de un espacio representativo.

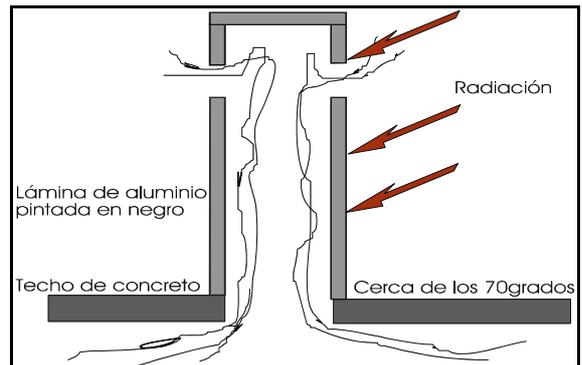


Imagen 24. Modelo básico de chimenea solar.

De la diversidad de modelos que se pueden encontrar se propuso la utilización un modelo de la forma más sencilla, de columna prismática, elaborando dos tipos básicos uno en lámina de aluminio y el otro a cristal sencillo claro.

En este punto se pretendía conocer como se presentaba el fenómeno de entrada y salida de masas de aire, así que en una maqueta se realizo lo siguiente:

Una de las primeras observaciones es la siguiente: El establecer un modelo semejante al ilustrado, tiene la ventaja que proyecta e incrementa el empuje por diferencia de densidad, que se ve favorecido al calentarse el aire por contacto con las paredes metálicas calientes.

Además se observó que cuando se encerraba humo, sin permitir la entrada de aire, la salida de éste se precipitaba por la columna de la chimenea hacia su parte alta, de forma no tan eficiente hacia el exterior, ya que su desplazamiento era lento.

La circunstancia cambia, cuando se calienta el prisma que funge como chimenea y la evacuación se manifiesta, pero al no existir aperturas por las cuales pudiera entrar aire hacia el interior de la maqueta que renovara el volumen evacuado, el funcionamiento se ve disminuido.

Por tal circunstancia se le incluyó a la maqueta aperturas en la parte baja de una de sus paredes, preferentemente en su muro opuesto a la salida.

Así que de los ensayos en la maqueta se desprende el esquema siguiente, en el cual se localizan algunos flujos de aire de entrada, al igual de los de salida; para los flujos de entrada por estar localizadas las entradas en la parte baja se, suscitan de forma turbulenta, pero cambiaban al enfilarse hacia la parte baja de la chimenea, cambiando a una forma laminar más uniforme.

Cabe resaltar el hecho de que los ensayos en la maqueta se realizaron dentro de una habitación, procurando que ráfagas de aire ajenas al ensayo no intervinieran en las observaciones, ya que como se quería evaluar visualmente

como se llevaba a cabo tanto la entrada de aire como la salida se tuvo cuidado en llevar esto a efecto. De las observaciones que se efectuaron en modelos a escala, se dedujeron algunas posibles circunstancias tales como:



Imagen 25. Maqueta realizada.

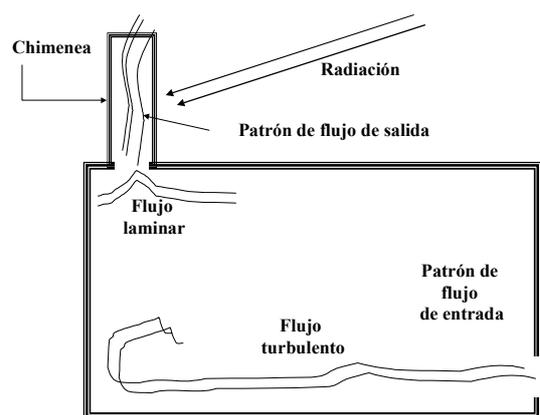


Imagen 26. Esquema de la maqueta sobre la cual se trabajó.

-
- Habitaciones de características similares al modelo, los patrones de entrada y salida de aire podrían presentar comportamientos similares.
 - La localización de las entradas de aire se pueden manipular para direccionar flujos de aire, al área en donde se requiera ventilar.

Se observó que el desplazamiento de aire interior es de forma turbulenta cuando entra, convirtiéndose en laminar cuando sale. En las observaciones anteriores solo se pretendió entender el comportamiento del patrón de flujo dentro de un espacio, sin considerar datos de temperatura del aire que beneficiara la diferencia de densidad del aire, y por tanto su desplazamiento hacia el exterior por efecto chimenea.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE FLOTABILIDAD

Dentro de la búsqueda de respuestas para poder evaluar una chimenea solar. Es un espacio que

contiene parte del aire caliente que se genera en el interior de la habitación, esto debido a la disminución de su densidad que lo empuja a buscar una salida, lo cual genera que el aire intente escapar por ventanas y puertas arrastrando consigo parte de la carga térmica que se transmite a él; así que mientras por una parte intenta salir, esta fuga provoca una entrada de aire proveniente del exterior para equilibrar la masa de aire desplazada, con características de temperatura y humedad diferentes a las que pudiera tener la masa evacuada.

Pretendiendo establecer una relación entre este fenómeno, y una ecuación manejada por diferencia de rangos de temperatura entre el **interior** – **cámara**, y cuyo objetivo sea provocar ventilación inducida, se establece la siguiente relación.

Si el volumen evacuado o caudal, por la ecuación, se maneja por diferencia de temperatura, la velocidad de evacuación se verá incrementada, cuanto mayor sea esta diferencia. En este caso la entrada de la chimenea será equivalente a la salida de aire en un espacio.

Modelo	Observaciones
	<p>Modelo de chimenea vertical elaborada con material transparente, y ensayada con reflector de 50 w de potencia.</p>
	<p>Modelo de chimenea inclinada elaborada con material opaco, lamina de aluminio pintada de negro , y ensayada con reflector de 50 w de potencia.</p>
	<p>Ensaye de visualización de desplazamiento de aire, con humo, como trazador de movimiento, e hilo colgante con el mismo objetivo.</p>

Tabla 12. Modelos a escala para determinar el modelo físico a estudiar.

La salida corresponderá a su equivalente arquitectónico, sólo que en este caso la entrada y la salida se encuentran ubicadas una sobre la otra.

Los rangos de temperatura que se manejan en la tabla se establecen con base en un estudio de termometría infrarroja aplicada en viviendas de

interés social, por parte de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Baja California, expuesta durante la XXI Semana Nacional de Energía Solar, realizada en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua (1997). En este trabajo se expone que, en la superficie de un techo plano realizado en concreto, se llegan a presentar temperaturas de

hasta 75 °C en su superficie, mientras la temperatura ambiente alcanzó los 45 °C; con lo cual se deduce que se pueden establecer diferencias de temperatura entre una superficie expuesta a la radiación solar y el interior de un local, de hasta 30 °C, cuando hablamos de una losa común.

Pero según otros datos, si se utiliza algún otro tipo de techo como por ejemplo un techo escudo, ésta diferencia puede verse incrementada hasta en una diferencia cercana a los 50 °C.¹

Con base en esto, y en la ecuación de flotabilidad²:

$$Q_{\text{buoyancy}} = 421.1 \times A [h (T_i - T_e)]^{1/2}$$

en donde:

A = Área de salida

h = Altura entre la entrada y la salida

T_i = Temperatura interior

T_e = Temperatura Exterior

Y haciendo las consideraciones de tres casos en donde de primera instancia se considera el aumento en el área de secciones cuadradas de 15 x 15 (área 1), 20 x 20 (área 2) y 30 x 30 cm (área 3)³, manteniendo constante los valores de altura entre la entrada y la salida de 1 m de altura. Se obtienen los siguientes resultados, en cuanto al caudal de flotabilidad obtenido y se resumen en el grafico siguiente.

En este se aprecia que en cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior mayor será el caudal de evacuación de masas de aire.

Además se manifiesta un considerable salto en cuanto al caudal al pasar de una sección de 20 x 20 cm, a una de 30 x 30 cm, mayor en proporción que cuando se comparan las tendencias entre las secciones de 15 x 15 y las de 20 x 20.

¹ J. Diego Morales Ramírez; Estudio de Techos de Edificios Construidos para Operar en Forma Pasiva; Tesis de doctorado; UNAM; 1993; pág 5.

² Bruce Anderson, Malom Wells; Guía fácil de la energía solar pasiva calor y frío natural; pág. 109.

³ Según V. Olgay, la separación de las placas debe ser entre 250 mm y 300 mm; pero Ken Yeang propone separaciones hasta 500 mm.

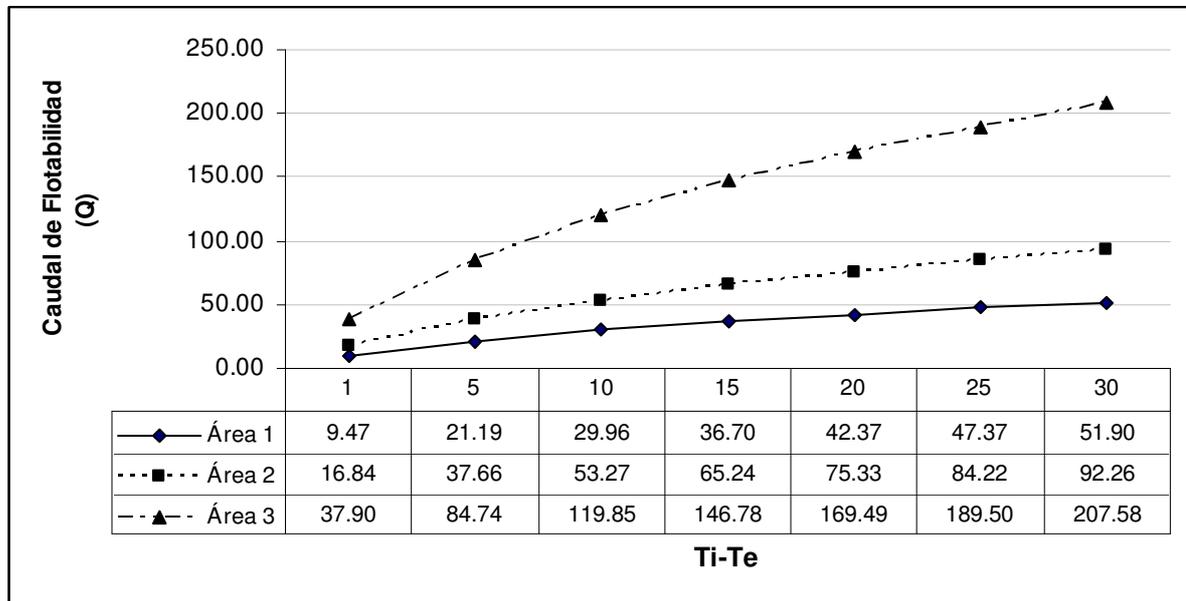


Gráfico 13. Comportamiento considerando la variabilidad de la sección.

En el siguiente caso evaluado desde este mismo punto de análisis, se presenta el caso en el cual se mantiene constante la sección (de 30 x30 cm) y se varia la altura del elemento de 1 a 3 m de altura, presentándose los siguientes resultados.

En ellos es observable que la eficiencia en cuanto al caudal de flotabilidad no presenta diferencias marcadas por la diferencia de altura entre la entrada y la salida.

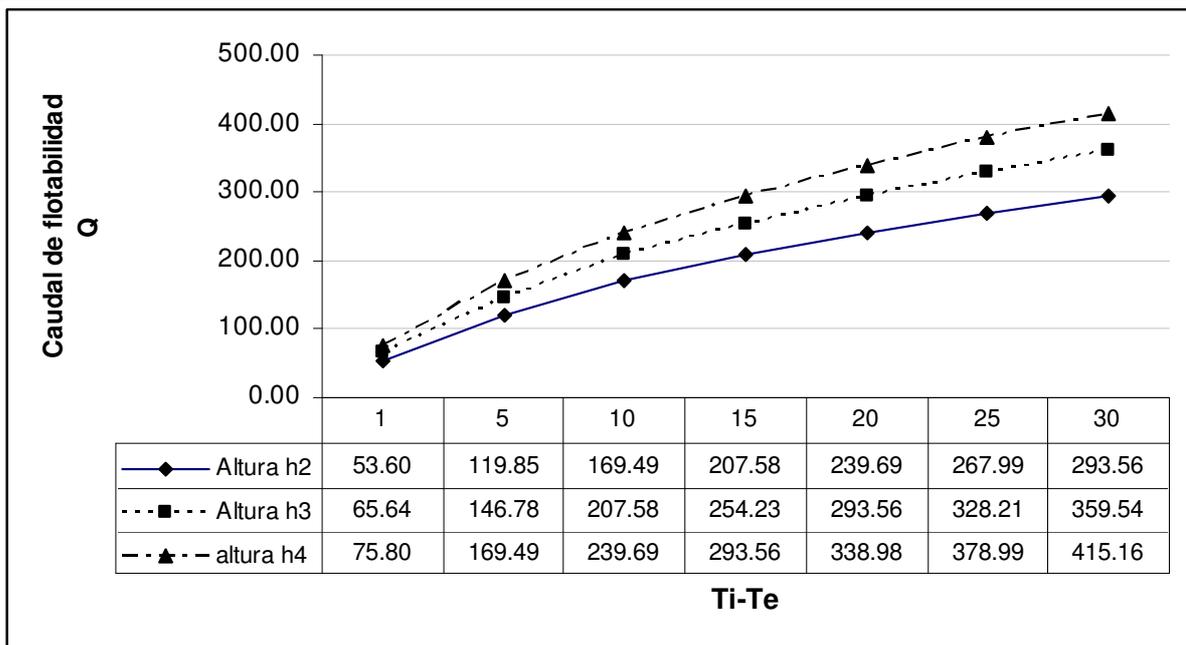


Gráfico 14. Caudal según diferentes alturas.

Los resultados son más modestos, mostrando tendencias similares del caudal, cuanto más alto sea el elemento o cámara de calentamiento.

El planteamiento de la tabla que precede al gráfico indica, las posibles velocidades de evacuación de masas de aire caliente del interior de un local al utilizar una chimenea solar, siempre y cuando se presenten diferencias de temperatura de los ordenes marcados, que aunque para estas alturas son teóricos, pueden dar una idea de las

velocidades y caudal desplazado por diferencias de temperaturas.

La tabla y el gráfico se plantearon de la siguiente manera; sí existen formulas para evaluar el fenómeno de flotabilidad o efecto chimenea, que se presenta de forma natural para edificaciones, al definir un volumen exclusivamente para calentamiento, y obtener una diferencia de temperatura máxima entre el interior de un edificio y

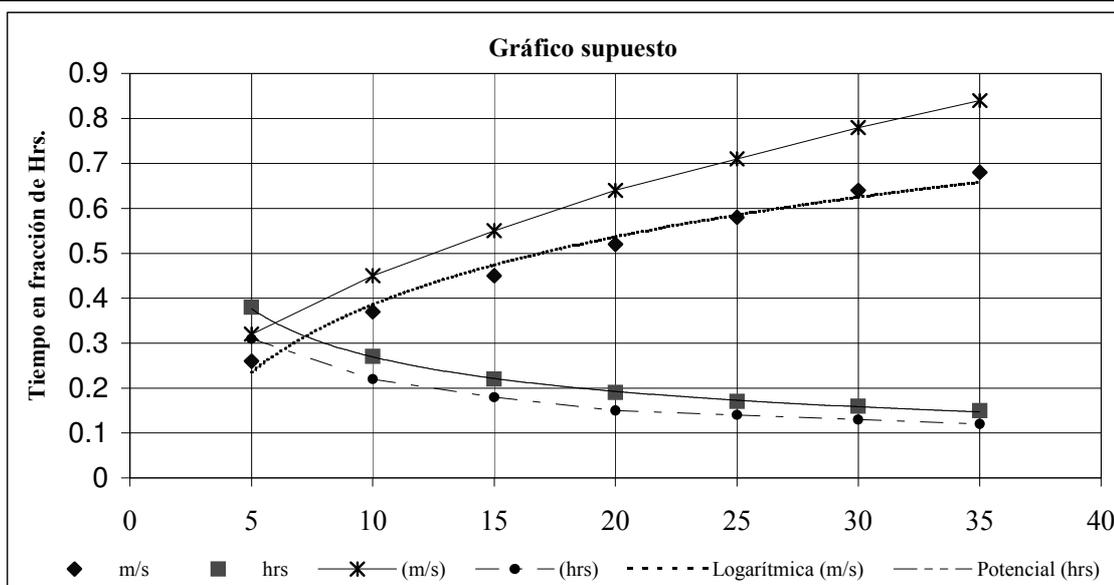


Gráfico 15. Relaciones entre velocidad, caudal y tiempo simultáneamente, para una apertura de entrada y salida de 0.0225 m^2 .

el medio ambiente, para evaluar esto, se procedería de igual forma.

Para lo cual se presume que el fenómeno es incrementado al definir un volumen exclusivamente para calentamiento, que aunado al aumento de velocidad por la disminución de densidad, y a las facilidades que se le deban dar a cierta masa de aire que será evacuado, se procedió a la conjetura anterior.

Así que, analizando el gráfico podemos observar que al variar la superficie de salida (que es igual a la de entrada), por que la suposición se refiere a un modelo de chimenea vertical de forma prismática y cuya entrada y

salida son similares, las curvas de velocidad tienden a conservar el comportamiento de la curva⁴ descrito por la superficie menor, manteniendo un comportamiento esperado, esto es, que sufre un aumento progresivo de sus valores; mientras la curva de tiempo⁵ de evacuación de un volumen fijo, sufre variaciones sólo en su inicio, tendiendo a igualar sus valores conforme aumenta la temperatura. Así que no sólo la diferencia de temperatura es importante, también influye la superficie de entrada y salida de la chimenea.

⁴ Este comportamiento tiende a ser similar a un modelo logarítmico.

⁵ Su comportamiento tiende a ser similar al de un modelo exponencial.

Como se menciona en una etapa anterior, los valores de temperatura con los cuales se generó la tabla provienen de un planteamiento teórico, es una forma de evaluar el comportamiento del caudal de ventilación de un volumen fijo, bajo una forma gráfica, así que la metodología de análisis planteada aquí, parece visualizarse más objetivamente, esto es, podemos apreciar que es lo que sucedería con ciertos rangos de temperatura, contrastándolos con su velocidad aparente⁶.

En las tablas y gráficos generados hasta ahora sólo haría falta multiplicar por el factor que se menciona al inicio de la sección, un factor que proviene de la diferencia entre entrada y salida de la chimenea. Además de lo antes expuesto, de la tabla y el gráfico se puede deducir que los valores de $T_i - T_o$, no sucederían en los ordenes marcados, por el simple hecho de tratarse de lugares diferentes geográficamente hablando, y de las características de humedad, sin contar los materiales de los cuales se encuentre elaborada la construcción, que afectarían directamente la

⁶ Por ser un valor calculado, puede variar de cualquier medición real.

capacidad de transmisión del calor hacia el interior, y de las cargas internas, que harían elevar la temperatura, con su consecuente disminución de la diferencia de temperatura entre el interior del local y la chimenea. Así que, se requeriría de un análisis específico en cada caso de aplicación.

COMPORTAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA CÁMARA DE CALENTAMIENTO

El equipo utilizado para el levantamiento de registros son termopares tipo "j", cuyo rango de operatividad se encuentra entre los 0 °C y los 500 °C, con una tolerancia de ± 1 °C.



Imagen 27. Equipo de registro

De los ensayos realizados en modelos a escala, pasamos a un

modelo de chimenea solar bajo condiciones climáticas reales, en las que se realizaron registros de temperatura en un prisma de lámina de zinc, cuyas dimensiones son de 25 x 25 x 100 cm, dentro del cual se colocaron dos sensores para registrar la temperatura que se podría alcanzar bajo condiciones atmosféricas en la Cd. de Villahermosa Tabasco.

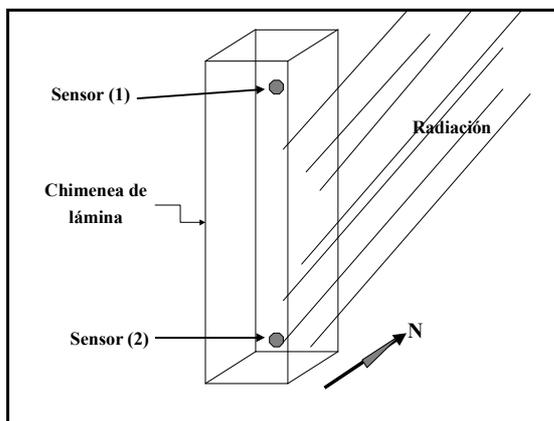


Imagen 28. Caso A

El primero de los sensores se colocó en la parte media baja, y el segundo en la parte media alta del prisma, con sus caras orientadas a los cuatro puntos cardinales. Simultáneamente se levantaron registros de otro prisma de 30 x 30 x 100 cm, en las mismas condiciones, con el objeto de registrar el comportamiento

de la elevación de su temperatura en función a las dimensiones antes especificadas.

Los registros se levantaron durante el transcurso del día, ya que, como los ensayos del sistema están enfocados a generar una diferencia de temperatura entre el interior de la chimenea y la temperatura del medio ambiente. Los registros levantados de los dos sensores mostrados en la figura anterior se obtuvieron por un promedio de sus valores, presentándose el siguiente registro (Ver gráfico A). En este gráfico se puede observar que al inicio del registro el prisma de mayor sección se encuentra por arriba del prisma de menor sección hasta aproximadamente dos horas posteriores al inicio de los registros. Al alcanzar este tiempo y cuando la radiación solar tomó mayor intensidad, las circunstancias cambiaron, la menor sección tiene una mejor respuesta al incremento de temperatura interior. Manteniéndose estos registros en un valor superior, durante las horas en que ambos prismas se encontraban expuestos a radiación solar.

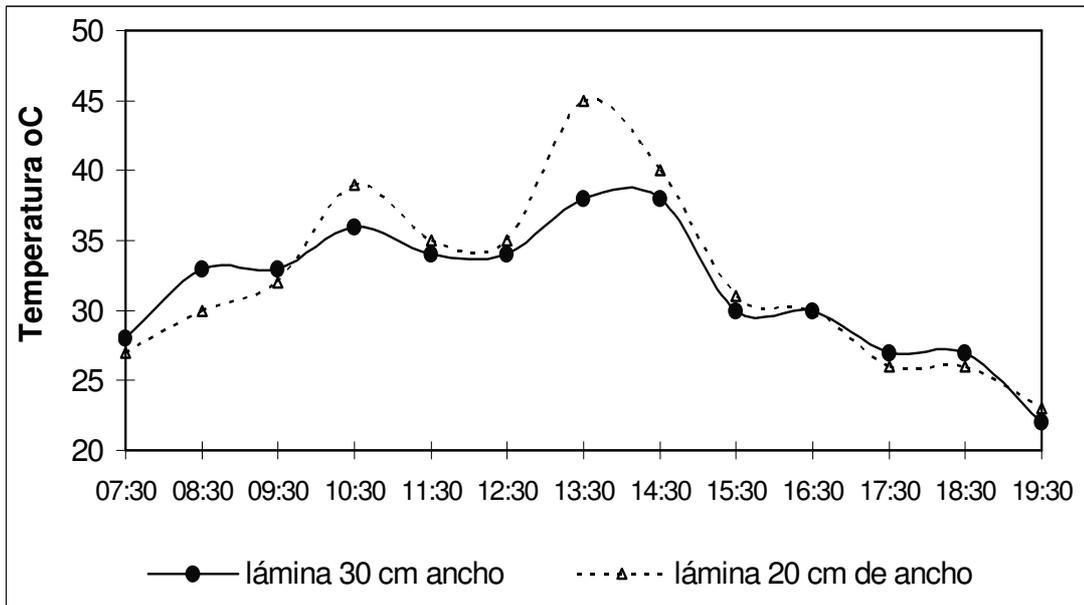


Gráfico 16. Caso A, comparativa en función a la sección de la cámara de calentamiento.

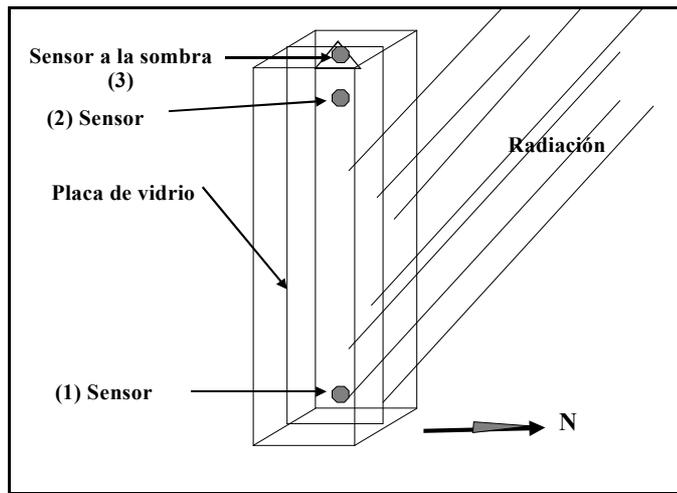


Imagen 29. Caso B.

Además se puede observar que una menor sección de la chimenea, tiene una mejor respuesta al sobrecalentamiento buscado, perfectamente apreciable al observar la curva más pronunciada en el gráfico del

prisma con menor sección, que intercepta a la otra gráfica en tres puntos, perfectamente definidos por modificaciones climatológicas que se presentaron en el día de registro, mismas que fueron nublados aleatorios

sin la presencia de lluvia. Al igual podemos apreciar dos picos curiosamente ubicados alrededor de las 10:00 y de las 14:00 horas, mismos que se presentaron en registros posteriores.

En un cambio de material de la chimenea de zinc por vidrio, con la finalidad de observar el comportamiento térmico de la chimenea, se realizaron algunas modificaciones, como por ejemplo.

La división de la sección transversal en dos secciones longitudinales de un prisma, y una distribución diferente de sensores.

Cada sensor se ubica en la parte media de cada sección, de estos, uno se ubica en la parte alta (sensor 2) y otro en la parte baja (sensor 1), mientras que un tercero se ubica de forma aislada de la radiación solar, en la parte superior del prisma (sensor 3). Las dimensiones del prisma son de 25 x 25 x 100 cm.

Mientras que la placa que lo divide longitudinalmente, se ubica en la parte media de dos lados opuestos e internos del mismo.



Imagen 30. Caso B. Modelo real en el cual se levantaron los registros.

En este gráfico B se observa claramente que los registros son más altos a los registrados por los modelos en lámina de zinc, es fácil apreciar registros cercanos a los 58 °C alrededor de las 16:00 horas. Al igual se puede observar que en el inicio del registro el sensor que se encontraba aislado de la radiación solar directa, sufre un retraso en el levantamiento de su temperatura, pero al transcurrir cierto tiempo, sus valores tienden a mantenerse solo unos cuantos grados por debajo de los registros de los otros sensores.

Si realizamos la comparativa entre los mayores registros de ambos ensayos encontraríamos que existe una diferencia de 13 °C, entre la utilización de lámina de zinc y la utilización de vidrio, debido a que para que exista la transferencia de calor por parte de la lámina, ésta necesita calentarse primero, además de que al ser un cuerpo opaco intercepta o refleja los rayos solares incidentes sobre él. Mientras que al utilizar vidrio la radiación infrarroja queda atrapada, incrementándose la cantidad de calor atrapada entre las placas de vidrio.

Durante un día nublado los registros se desarrollan de la siguiente forma. (Ver grafico C).

En este se agregó un cuarto sensor, mismo que se encontraba en una habitación; como se observa los registros interiores se mantienen bajos hasta alrededor de las 15:00 horas, dato que concuerda con los registros de temperatura que.

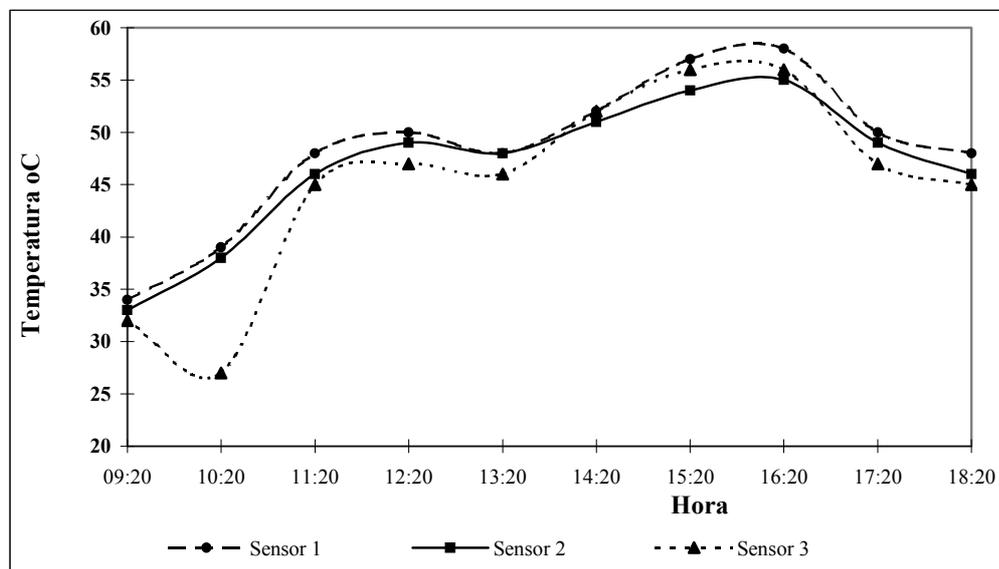


Gráfico 17. Caso B.

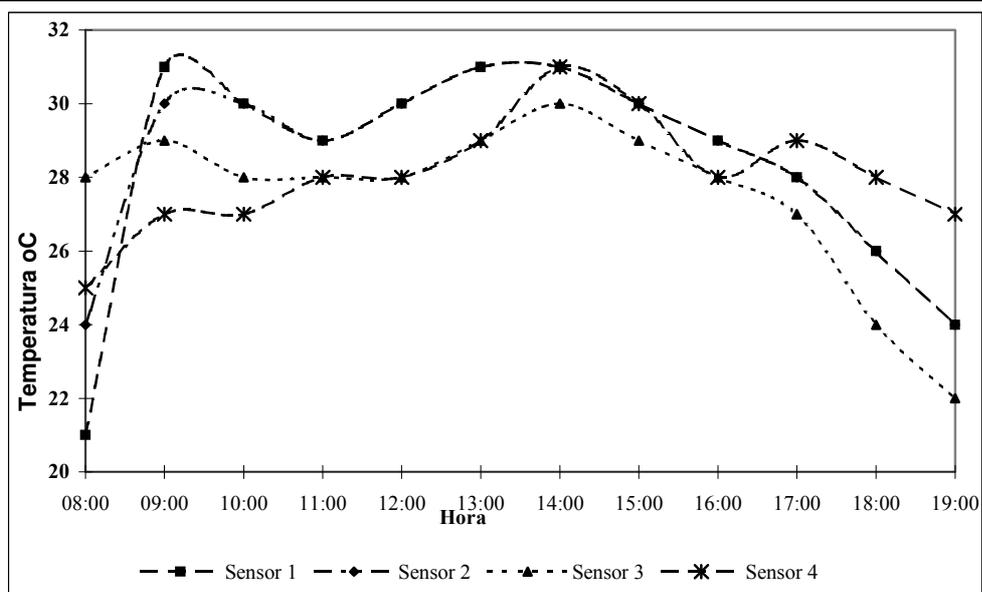


Gráfico 18. Caso C.

Pudieran obtenerse de alguna otra construcción, es común que alrededor de esta hora se presenten los mayores registros de temperatura debidos al amortiguamiento térmico de las construcciones.

Los registros para un día nublado revelan que las ganancias térmicas por radiación difusa tienen influencia en el sistema, manteniendo una diferencia de temperatura de la chimenea y el interior de la habitación, pero las ganancias térmicas que presentan los materiales de la construcción, llegan a generar una temperatura superior en el transcurso del día, por lo que en ese caso, la diferencia de temperaturas llega a ser

mínima, o bien, se revertiría el fenómeno de extracción, por una introducción de aire más frío y denso hacia el interior de la habitación.

Este fenómeno sería semejante al que se presenta durante la noche, debido a la ausencia de radiación y, por la constitución de la chimenea que tiende a enfriarse más que el medio ambiente, por las características propias del material. Sumado a esto, la temperatura interior se incrementaría por la capacidad de almacenamiento térmico de los materiales de la construcción.

Observando los gráficos siguientes, en las condiciones típicas de registros que se enumeran abajo cada uno de ellos, se puede observar una conducta característica, similar en cada uno de ellos, siendo un decremento de los registros entre las 12:00 y las 14:00 horas. Esto es, se sufren bajas de temperatura de los registros durante las horas de mayor incidencia solar, cuando debiera pensarse que este fenómeno no debiera presentarse. Todo esto independientemente de las condiciones climáticas que se presentaron.

(sensor 4) se mantienen en aumento constante y con poca variación. Aunque estos decrementos para los días soleados son de entre 8 y 10 grados, para los días medio nublados y nublados pasan a ser de solo unos cuantos grados de diferencia. Teniendo en cuenta que este fenómeno se presentará, durante las horas de mayor incidencia solar, tenemos la certeza de los registros que este fenómeno se pierde, cuando el interior de la habitación se encuentra en sus mayores registros de temperatura, durante un día soleado.

Mientras que los registros de la chimenea sufren estos decrementos, los registros de la temperatura interna

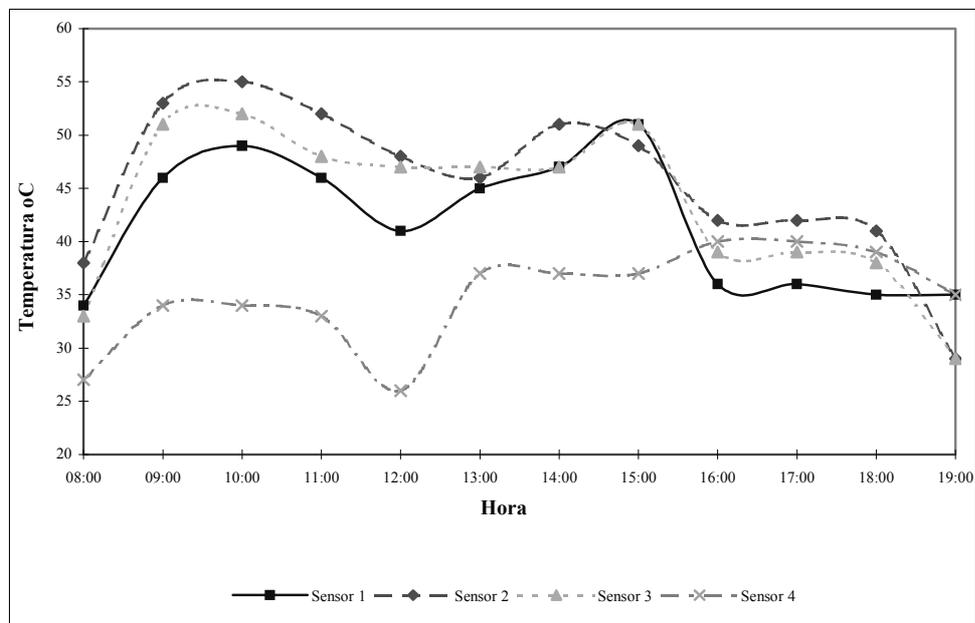


Gráfico 19. Día soleado.

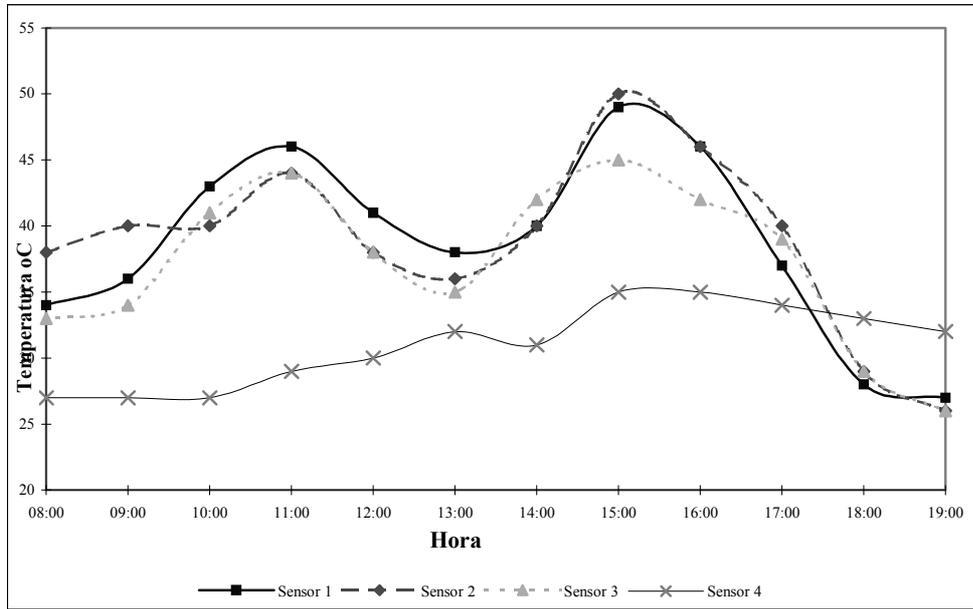


Gráfico 20. Día medio nublado.

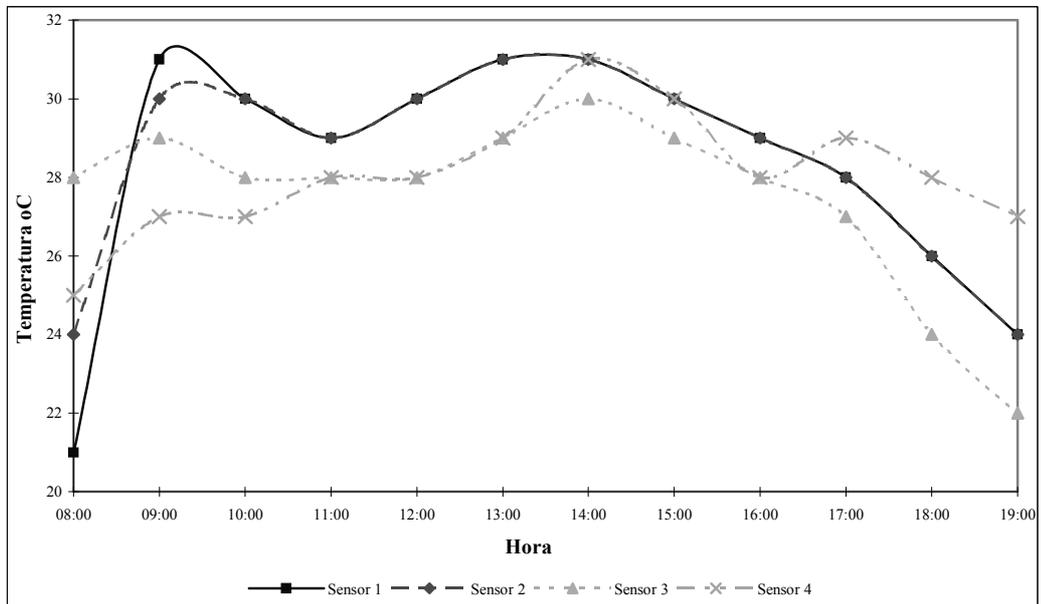


Gráfico 21. Día nublado.

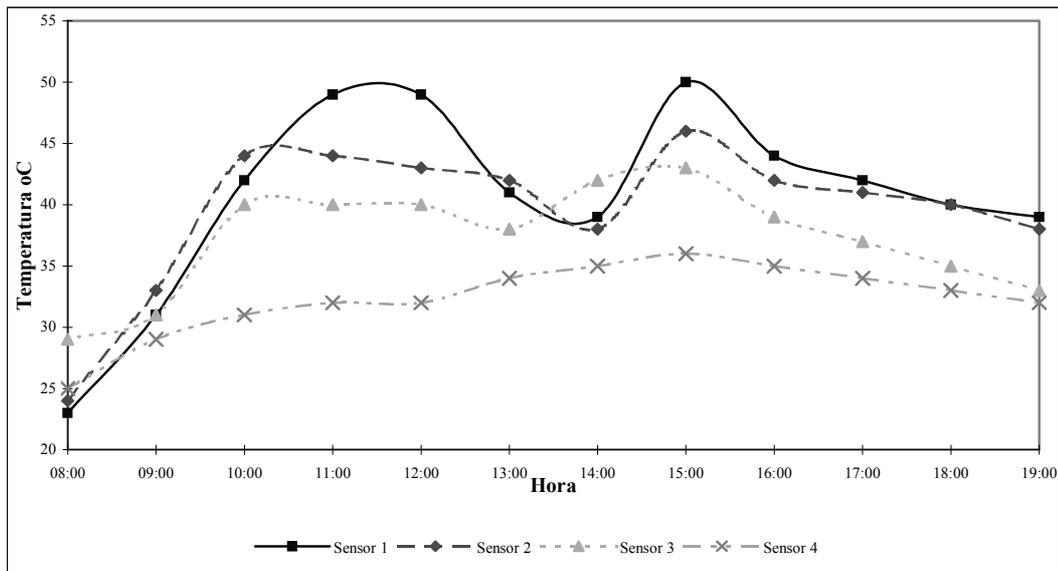
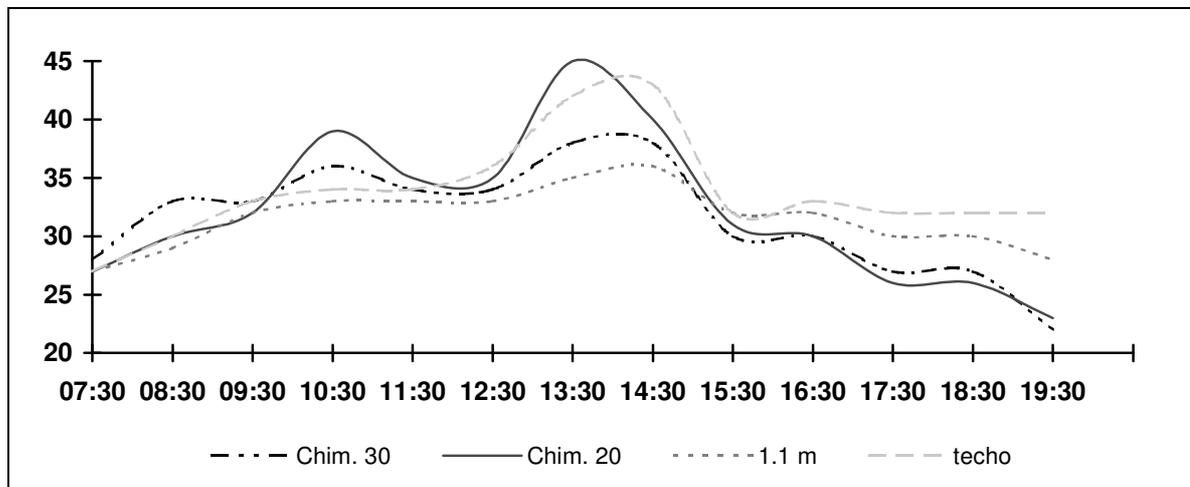


Gráfico 22. Día soleado.

En la gráfica siguiente se puede observar que la curva de radiación horaria se desfasa en la depresión máxima que se presenta en el día.

La geometría de la chimenea tiene influencia en la captación solar, esto es, la verticalidad de la misma junto con la elevación solar que se presenta durante el día, se combina para generar este decremento de valores. Una de las hipótesis de este trabajo es que la mayor eficiencia de la chimenea solar debería coincidir con las horas de mayor incidencia solar, pero al contrastar esta hipótesis, se observa que esto no sucedería, ya que para que la chimenea alcance su mayor eficiencia, ésta debería tener una temperatura máxima en ese periodo.

Pero, los registros muestran que su mayor eficiencia se presenta muy cerca de la hora de mayor temperatura interior. Alcanzando una máxima de entre 5 y 10 grados de diferencia entre el interior y el exterior de la habitación, con las excepciones y comportamientos antes descritos. Así mismo, se registran datos máximos de temperatura de 58 grados centígrados, como temperatura máxima alcanzada por el sistema, aun cuando se trata de un sistema abierto por completo al medio ambiente, alcanza a entrar en la clasificación de un colector de baja temperatura, cuyos valores máximos serían alrededor de los 60 grados centígrados. Tal y como se esperaba la techumbre de asbesto reacciona bastante rápido a la falta de



Ubicación de sensores	Hora del día 25 de Junio												
	7:30	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30
Chim. 30	28	33	33	36	34	34	38	38	30	30	27	27	22
Chim. 20	27	30	32	39	35	35	45	40	31	30	26	26	23
1.1 m	27	29	32	33	33	33	35	36	32	32	30	30	28
techo	27	30	33	34	34	36	42	43	32	33	32	32	32
Observaciones								nb	nb	nb	nb	nb	lluvia

Gráfico 23. Día 25 de Junio.

radiación, ya que sólo se presenta una variación debida a inercia térmica por parte de esta techumbre de una hora, entre las 14:30 y las 15:30 hrs. Pero de este descenso el sensor cerca del techo empieza a registrar el calor emitido por los muros, manteniendo la temperatura interior y en su parte alta del local por encima de los 30 °C.

Los siguientes registros gráficos se encuentran relacionados ha

establece patrones de comportamiento de los registros levantados.

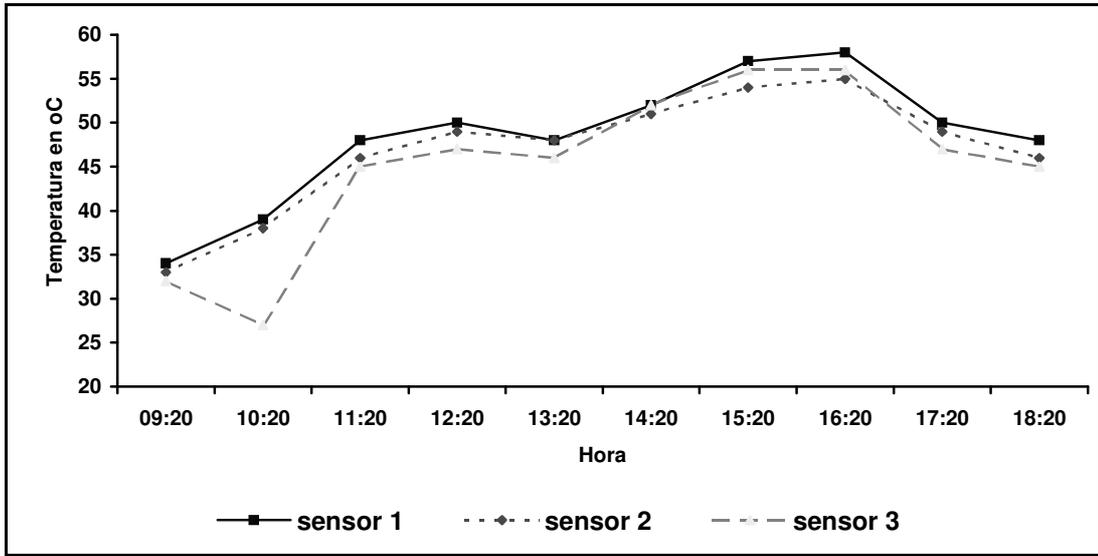


Gráfico 24. Día 13 de Julio.

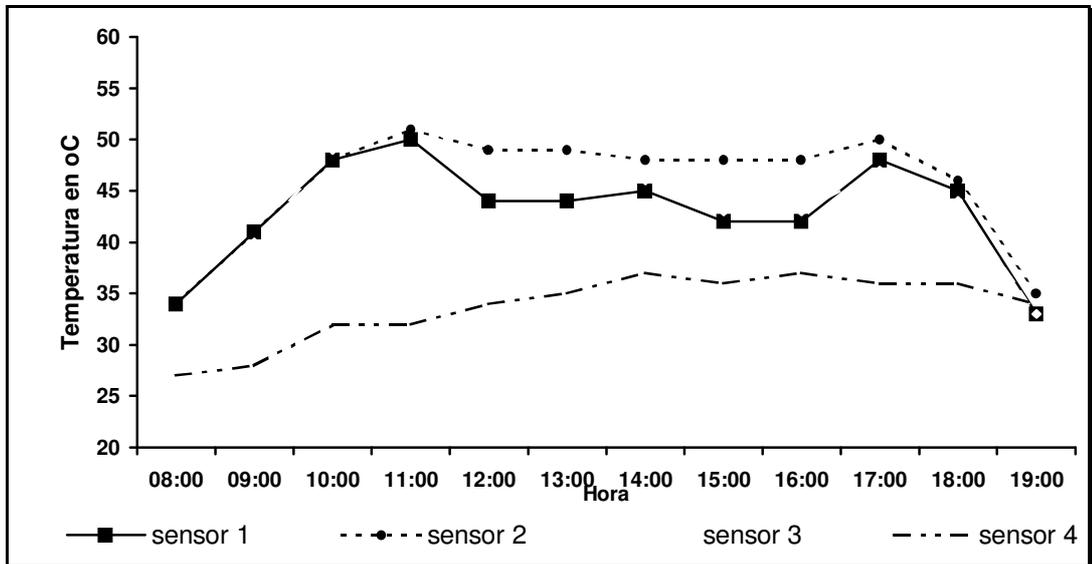


Gráfico 25. Día 14 de Julio

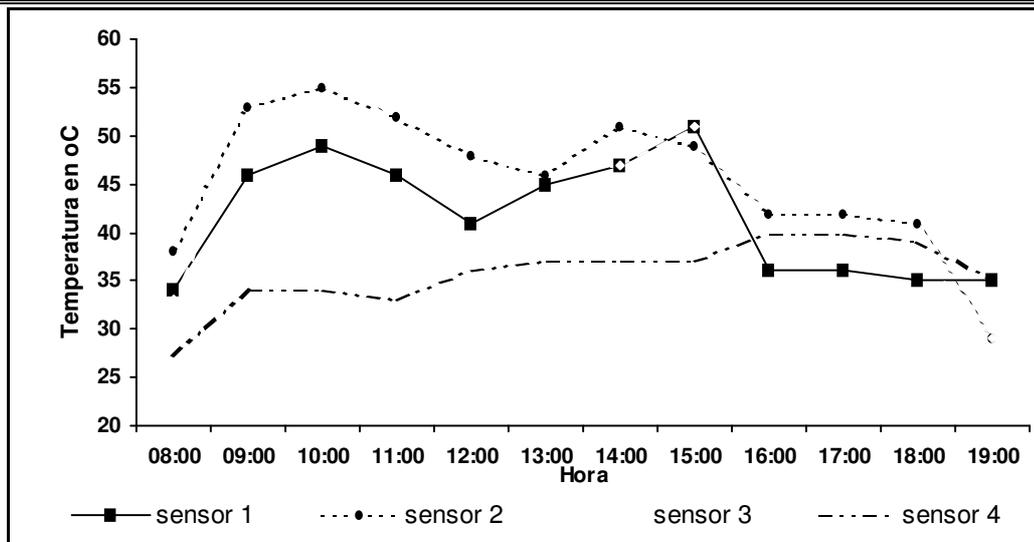


Gráfico 26. Día 15 de Julio.

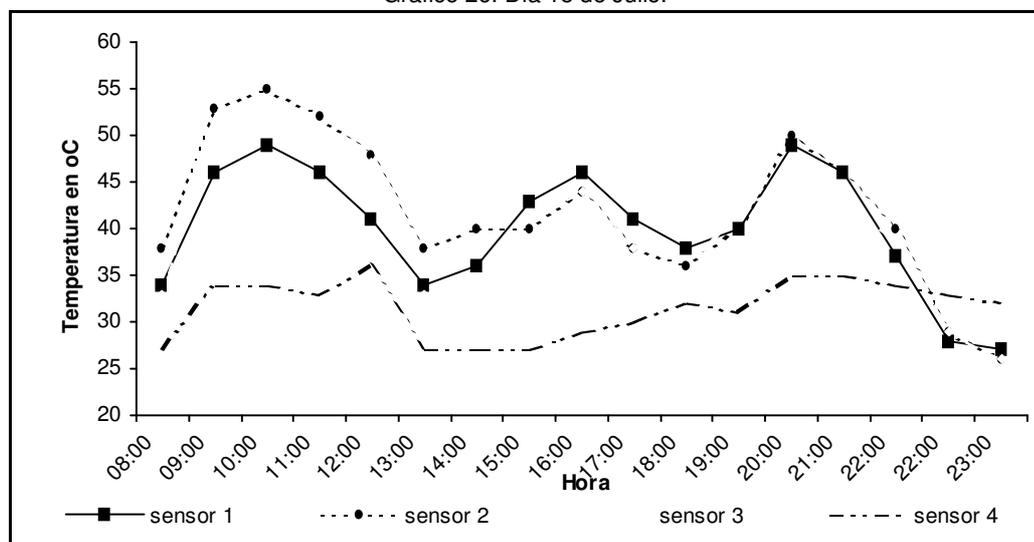


Gráfico 27. Día 16 de Julio.

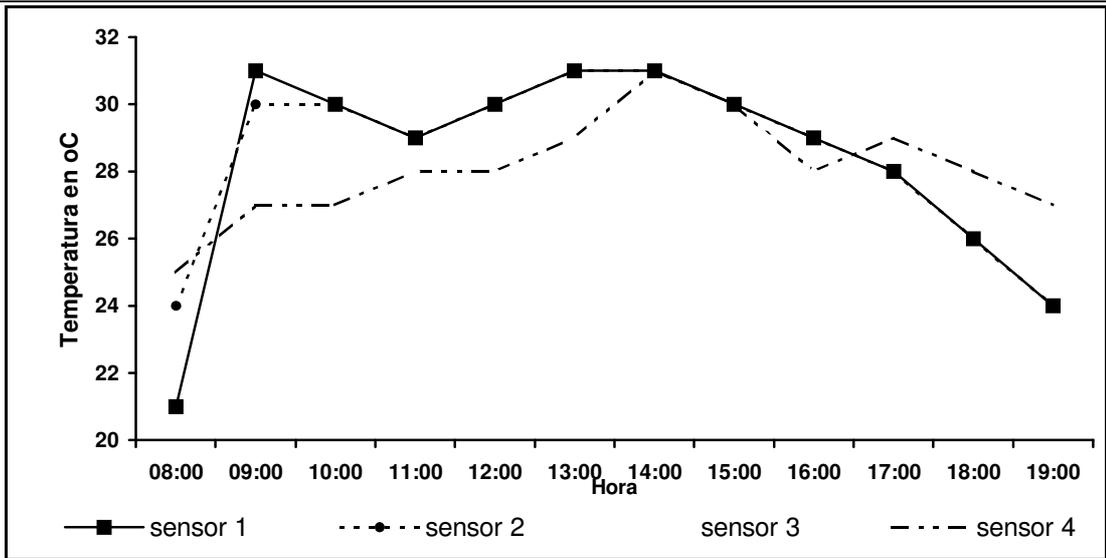


Gráfico 28. Día 17 de Julio.

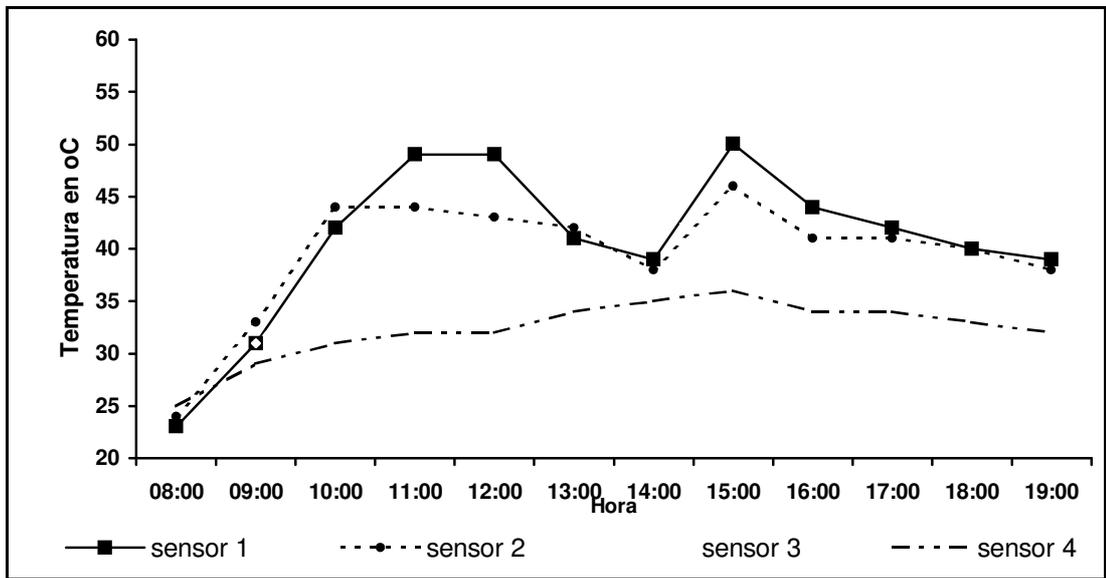
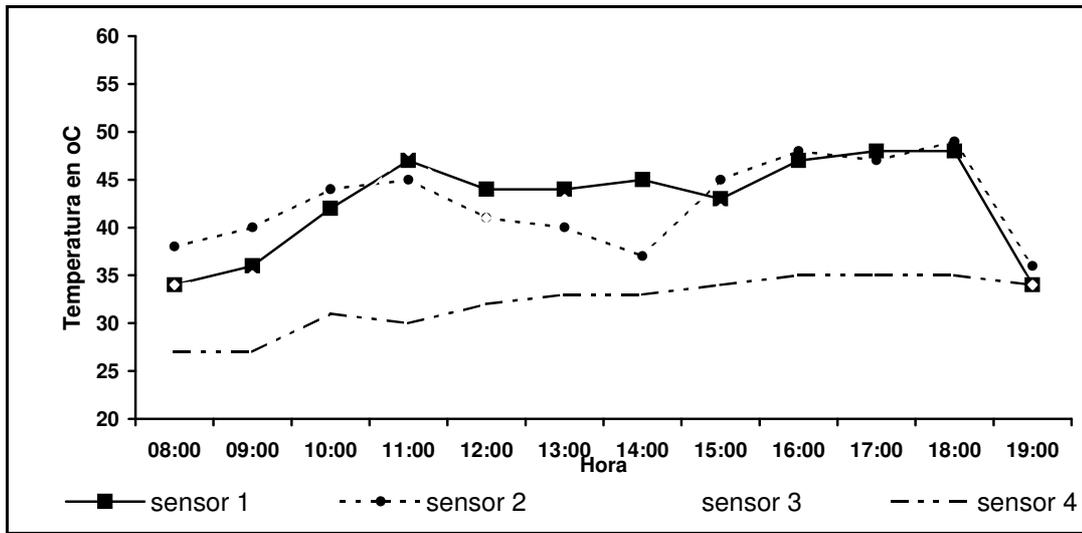


Gráfico 29. Día 18 de Julio.



Sensores	Hora del día 19 de Julio											
	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
1	34	36	42	47	44	44	45	43	47	48	48	34
2	38	40	44	45	41	40	37	45	48	47	49	36
3	34	35	40	48	41	43	40	42	45	45	45	34
4	27	27	31	30	32	33	33	34	35	35	35	34

Gráfico 30. Día 19 de Julio.

CAPITULO V.- RESULTADOS

FORMA Y PATRONES DE RADIACIÓN

El comportamiento de los decrementos que se visualizan en los gráficos, mismos a los que se les ha puesto especial atención, se ven estrechamente relacionados con los patrones de radiación solar¹ sobre superficies expuestas a radiación solar.

Estos patrones tienen la característica de relacionar las proporciones de largo, ancho y alto de las secciones de prismas, pero más que nada se centran en las superficies que se orientan hacia el sur a diferentes latitudes. Según Anis A. Siddiqi², se han realizados estudios de Radiación Solar y Morfología del Edificio por Volko³, este estudio se refiere a un número de formas relevantes para la esencia urbana, y ha comparado la insolación de esas formas para diferentes periodos del año, así como para una localización

geográfica de 42 grados de latitud Norte; asumiendo una superficie como unidad y derivando varias formas.

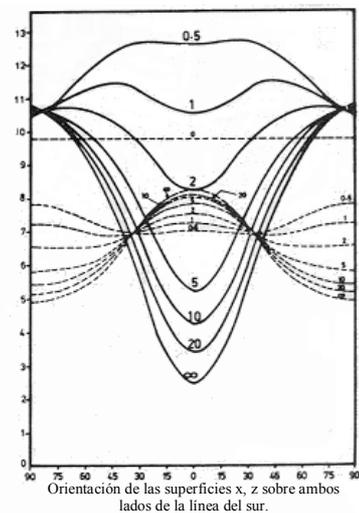
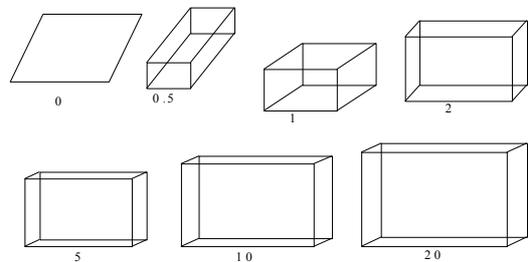


Imagen 31. Patrones de radiación de formas de edificios para latitud de 32° Norte.

¹Solar Radiation and Building Morphology, PLEA; Pág. 228.

²Ibíd., pág. 229.

³Ibíd., pág. 231.

Se definieron varias formas de edificios, por el cociente aritmético de 8 por fachada, en la dirección del sol y profundidad del edificio. Esto es, se busco una proporción unitaria de 8 de frente por 8 de profundidad, y en función de la superficie de la fachada contra el volumen del cuerpo (superficie / volumen), se encontraron las demás formas derivadas. El resultado de este estudio muestra que diferentes formas de edificios, tiene variaciones sensibles hacia la orientación, y al igual para la variante estacional. Los efectos de la forma y orientación sobre la radiación de los edificios, pueden conducir a conclusiones erróneas sí los edificios son considerados en grupos, tal y como sucedería en una urbe.

El sombreado mutuo de edificios dentro de un grupo puede alterar los patrones de radiación de cada bloque individual. De este estudio realizado para diferentes latitudes surge un hecho que es importante resaltar. Los registros de temperatura que se realizaron, fueron levantados utilizando un prisma de cristal, que para el estudio sería la representación más sencilla de lo que es una chimenea solar, cuyas

proporciones en función de una de sus caras son semejantes al caso de 0.5, pero encontrándose de forma vertical, además de diferir en cuanto a su ubicación geográfica de 19° 59' latitud norte, para Villahermosa. Pero es de especial atención, la circunstancia de haber obtenido un registro muy similar a los obtenidos en este estudio, de patrones de radiación en función a la forma del edificio. Si bien es claro que los instrumentos son completamente diferentes, ya que mientras en uno se utilizaron termopares tipo "j" con el propósito de levantar registros de temperatura, en el otro se utilizaron instrumentos cuyo objetivo era registrar radiación solar.

La circunstancia de obtener patrones similares, es una cuestión que tiende a relacionar el comportamiento de los patrones de temperatura, con los patrones de radiación solar en función de la forma de la chimenea. Las ganancias térmicas en el interior de un prisma sufren incrementos de temperatura por incidencia solar directa por la mañana y tarde, debido al ángulo casi perpendicular sobre sus caras Oriente y Poniente, siempre y cuando

sus caras se orienten a los cuatro puntos cardinales.

Si relacionamos los patrones de radiación en función a la forma del edificio, de Annis A. Siddiqi, con los datos registrados, tendríamos que:

- Los valores de radiación en MJ/m^2 , son más altos para orientaciones con azimut alto hacia el oriente o poniente, como se observa en el gráfico anterior; mientras que este valor disminuye conforme se acerca al valor de cero al centro del eje horizontal del gráfico, muy similar a como sucede en los registros de temperatura obtenidos.

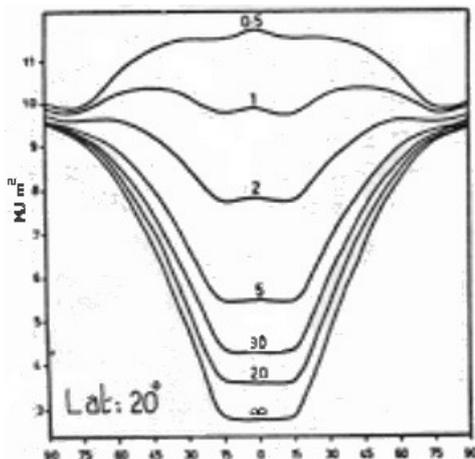


Imagen 32. De dependiendo de la relación entre sus caras y forma del edificio, para una latitud de 20 grados, se podrían esperar patrones de radiación semejantes.

- Además de la relación inversa de "a mayor altura solar, menor incidencia en las paredes de la chimenea", y por consiguiente menor temperatura del sistema; pero por el contrario se sufre de mayor incidencia en techos planos y su correspondiente elevación de temperatura.
- Independientemente de la forma, los patrones de radiación se despliegan siguiendo un patrón, por lo cual, se establece que para chimeneas de forma prismática se presentarán los patrones de temperatura similares.

Los registros tanto como los patrones mencionados, son referidos a la temporada calurosa, y precisamente para patrones de radiación para el mes de julio.

INFLUENCIA DE LA LATITUD

La localización geográfica, (longitud y latitud de un lugar combinadas con la altitud), determina las condiciones climáticas de una región sobre la faz de la tierra, por lo que los

patrones de radiación solar no serán iguales para diferentes latitudes. El investigador A. Siddiqi establece dentro de su estudio referente a patrones de radiación algunos gráficos de estas diferencias, por lo que con base en dichos gráficos se puede establecer que existirán diferencias en los registros que se obtuvieron, al ubicar un prototipo como el citado anteriormente.

Por lo que sí fuera posible modificar el ángulo de incidencia de los rayos solares a nuestro antojo, podríamos aspirar a disminuir o desaparecer esa depresión que se presentó en los registros. Considerando esto, se podría modificar la forma de la chimenea, para reducir ese desarrollo negativo; pero, preguntémosnos hasta que grado se podría inclinar y dar una respuesta teórica satisfactoria de esta propuesta. Así que analizando los gráficos propuestos por Siddiqi, para diferentes latitudes se aprecia, que la influencia de la latitud y la forma, repercuten en las curvas de radiación descritas, así que para latitudes de cero grados latitud norte, las curvas son menos variantes en la cantidad de $Mj\ m^2$ que reciben las superficies del estudio.

Por lo que según la forma que representa a 0.5 y la forma infinita, existirá una variación de $4.5\ MJ\ m^2$, aproximadamente para sus valores con azimut cero. Mientras para una latitud de 10 grados Norte, la diferencia entre estas mismas curvas puede alcanzar $6.5\ MJ\ m^2$ de diferencia, y para una latitud de 20 grados norte, se alcanzar una diferencia de $9\ MJ\ m^2$ aproximadamente, así que las oscilaciones entre la forma calificada como 0.5 y la infinita (∞) aumenta conforme aumenta su latitud.

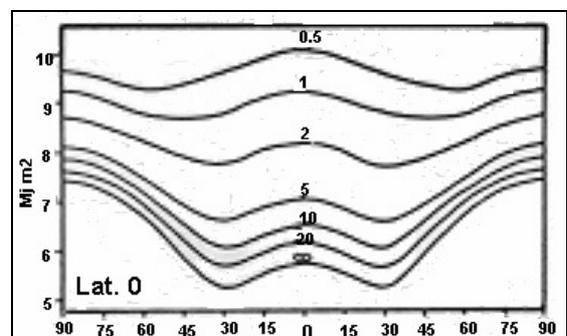


Imagen 33. Patrón de radiación correspondiente a latitud 0° .

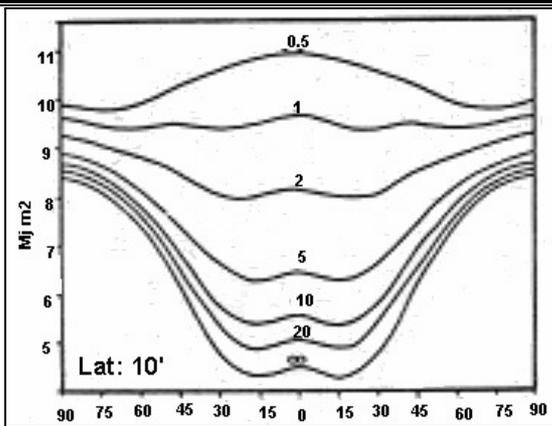


Imagen 34. Patrón de radiación correspondiente a latitud 10°.

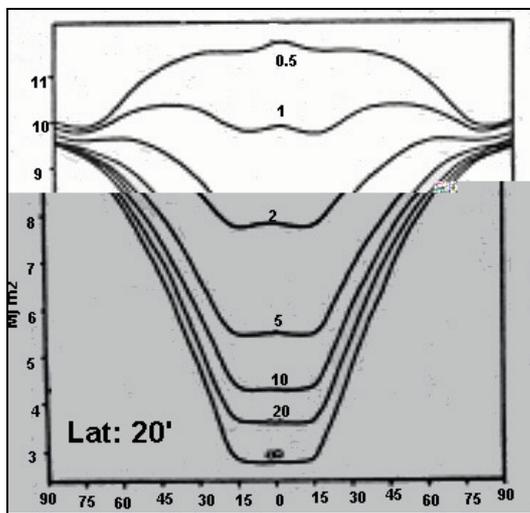


Imagen 35. Patrón de radiación correspondiente a latitud 20°.

Relacionando la incidencia solar sobre el prototipo realizado y ubicado en una latitud cero, obtendríamos algo semejante a la siguiente figura:

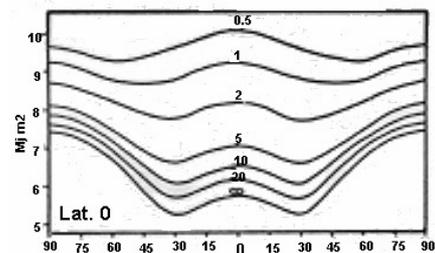
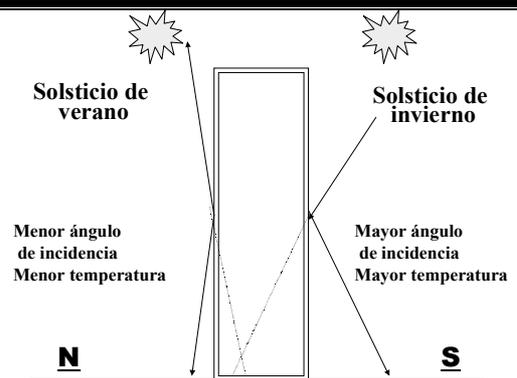


Imagen 36. Incidencia solar

En donde se observa el ángulo de incidencia para los solsticios de verano e invierno respectivamente; en una ubicación sobre el ecuador (Imagen 36) se deduce porque la temperatura no disminuiría al paso del sol por el zenit del día, esto conforme al gráfico lateral. Pero relacionando el grado de inclinación de los rayos solares en función de la latitud, obtendríamos una relación en la que los patrones de radiación afectan directamente a la temperatura de un sistema térmico solar (Imágenes 36,37 y 38).

En donde, conforme se modifica la latitud también cambia la incidencia solar sobre el prototipo, y aunque los gráficos relacionan cantidad de $Mj\ m^2$,

podrían tender a relacionar las posibles correcciones para modificar las caídas de temperatura en torres de forma prismática para un dispositivo de chimenea solar.

Para corregir los decrementos de temperatura, según los registros levantados y basándonos en una monea de solar de la ciudad de Villahermosa, sería factible realizar una inclinación sobre la vertical en dirección sur, igual a la latitud del lugar, obteniendo con esto una igualdad en el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre las paredes de la chimenea, tanto para el solsticio de verano como para el de invierno.

Deforma tal que dicha inclinación beneficiaría a incrementar la incidencia solar, sobre la chimenea. Aunque esto es una propuesta, la idea es susceptible de ser comprobada, ya que durante los ensayos en el prototipo no se realizó experiencia alguna.

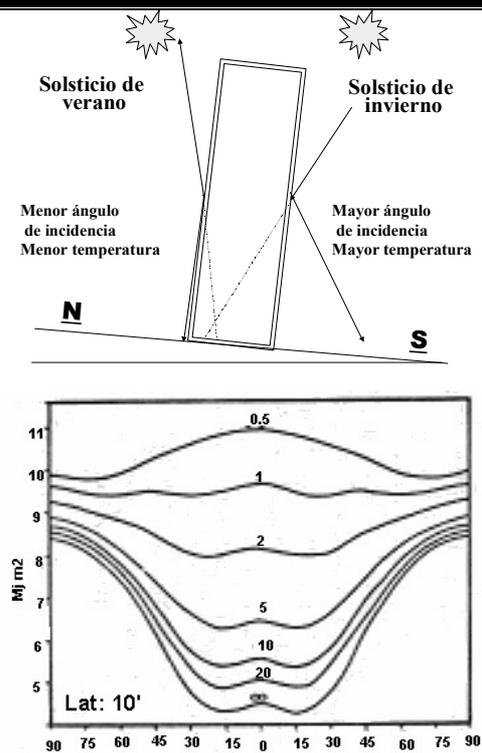


Imagen 37.

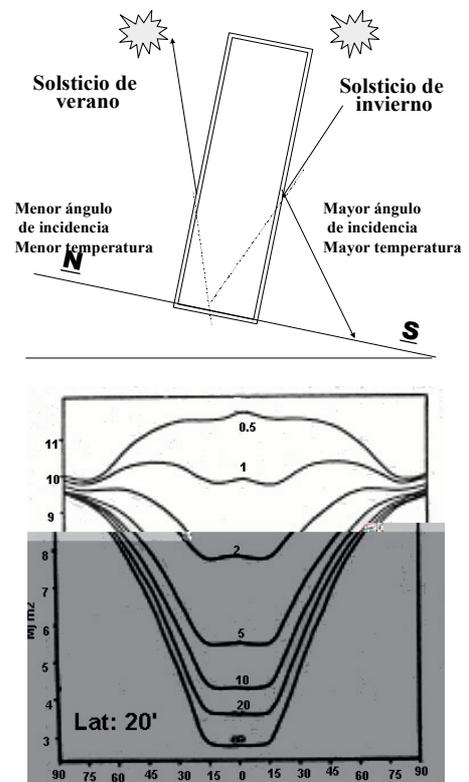


Imagen 38.

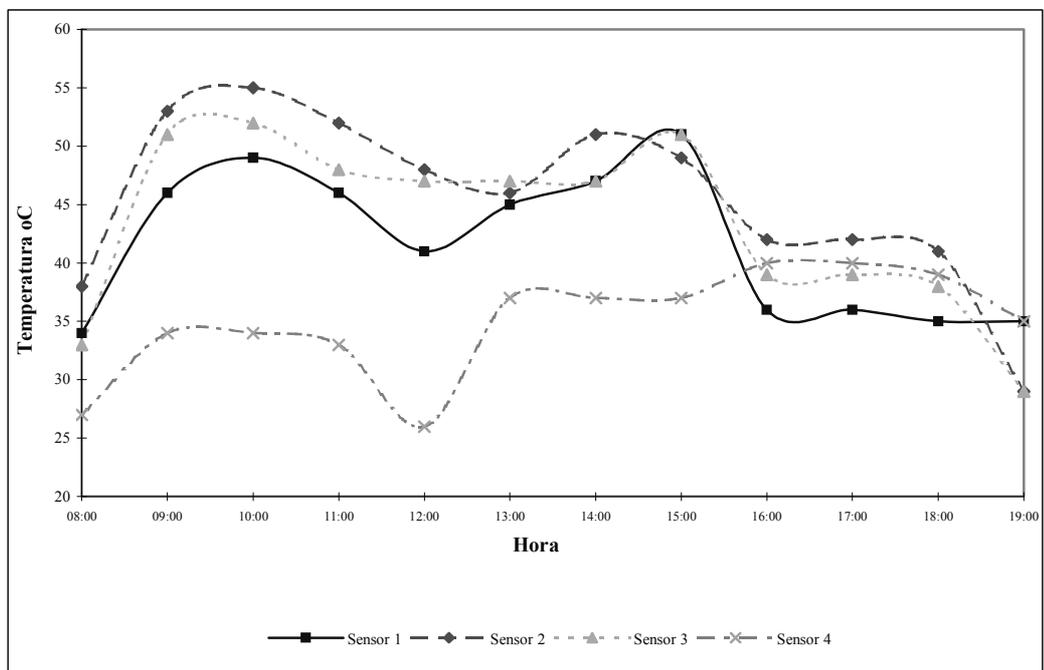
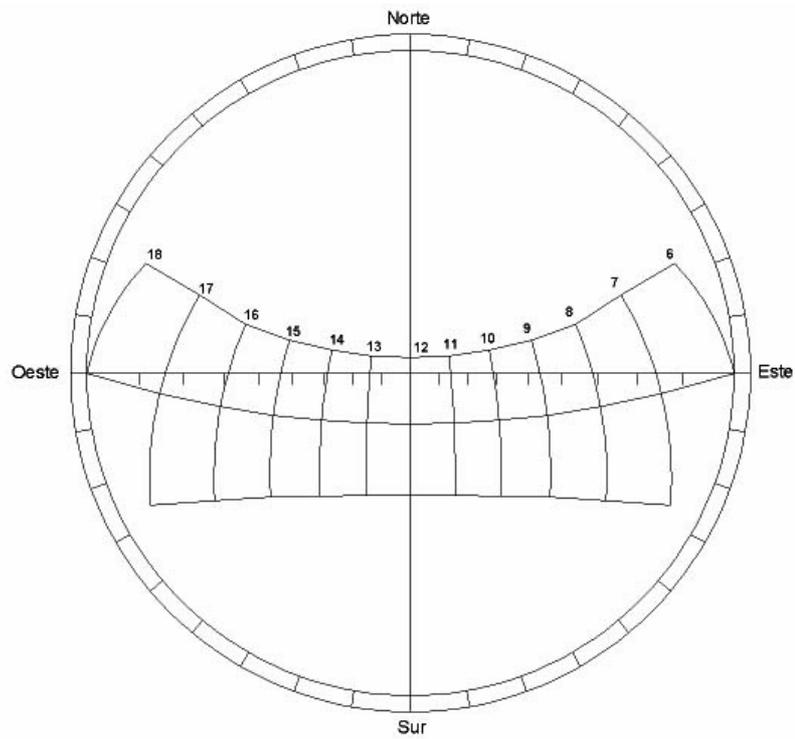


Imagen 39. Carta estereográfica para Villahermosa Tabasco; latitud 17.98° Norte. Registros durante un día soleado.

INCIDENCIA SOLAR

La necesidad de justificar el comportamiento de los registros y la incidencia solar, hace necesario el análisis utilizando la carta estereográfica correspondiente a la localización geográfica de Villahermosa (ver imagen 39).

En ella podemos deducir el comportamiento registrado, en función a la incidencia recibida sobre los modelos físicos.

Cuanto más agudo resultaba el ángulo de incidencia solar, mayores eran los registros en los sensores, como lo demuestran los registros para un día soleado.

De este mismo registro se puede observar los sensores 1 y 3, el primero muy cercano a la base del modelo, que se encontraba apoyado sobre una plancha de concreto, mientras el sensor 3, que es el que se encontraba a la sombra por algunos instantes alcanzó temperaturas equivalentes al sensor número 1, durante las 14:00 y 15:00

horas; manifestando la carga térmica acumulada de la losa de concreto y el calentamiento del aire que circula de forma ascendente dentro de la chimenea.

Mientras que para las primeras horas, estos registros se presentan aun más elevados, para la tarde son los más bajos.

Esto se debe principalmente a que la atmósfera se presentó más clara por la mañana que por la tarde, y debido a otros factores como la quema de pastos, que preferentemente los lugareños lo realizan por la tarde; y aunque estas quemadas no se encontraban relativamente cerca, sus efectos hacia la atmósfera son registrados por los instrumentos de medición.

En cuanto a la incidencia respecto a la altura solar, durante el periodo del verano se puede apreciar en la imagen anterior los ángulos y las horas incidentes. En este punto resulta explicar el siguiente comportamiento. Cuando la incidencia solar se acerca a

los 90 grados, respecto de las paredes del modelo estudiado⁴, es cuando los registros tienden a caer, debido a este comportamiento se haría necesario incluir algún otro dispositivo interno que captara esa radiación incidente, para evitar que los registros se modificarán de forma negativa al objetivo establecido; el de evacuar la mayor cantidad de aire de un espacio durante los periodos más cálidos del día.

Con el objeto de mejorar el comportamiento térmico ya registrado, se realizaron otros ensayos, estos se basaron en la introducción de secciones opacas metálicas y pintadas de negro. (Ver tabla 13).

ZONAS CALIENTES DE LA EDIFICACIÓN Y SU APLICACIÓN

A nivel urbano, la ciudad de Villahermosa es semejante a cualquier otra ciudad del centro de la república, con edificios de una, dos o más plantas, o bien de algunos edificios que

sobrepasan los cinco niveles de altura, en general, en esta ciudad apenas empiezan a proliferar los edificios con más de cinco niveles.

En cualquier tipo de edificio, se presentan áreas de la envolvente sujetas a incidencia solar, en mayor o menor grado. Estas zonas son las llamadas “zonas calientes de la edificación”.

Para la posible aplicación, de un sistema como el estudiado, en la vivienda, se realizan las siguientes consideraciones:

Una opción posible, para aplicación es en conjuntos verticales, ya que, es más factible lograr una columna de calentamiento, similar al ensayo realizado. Ya que cuanto más alta la columna y mayor superficie de captación, los resultados mejoran, al menos eso indicaron los análisis teóricos.

⁴ Se trata de un modelo basado en una columna prismática de cristal.

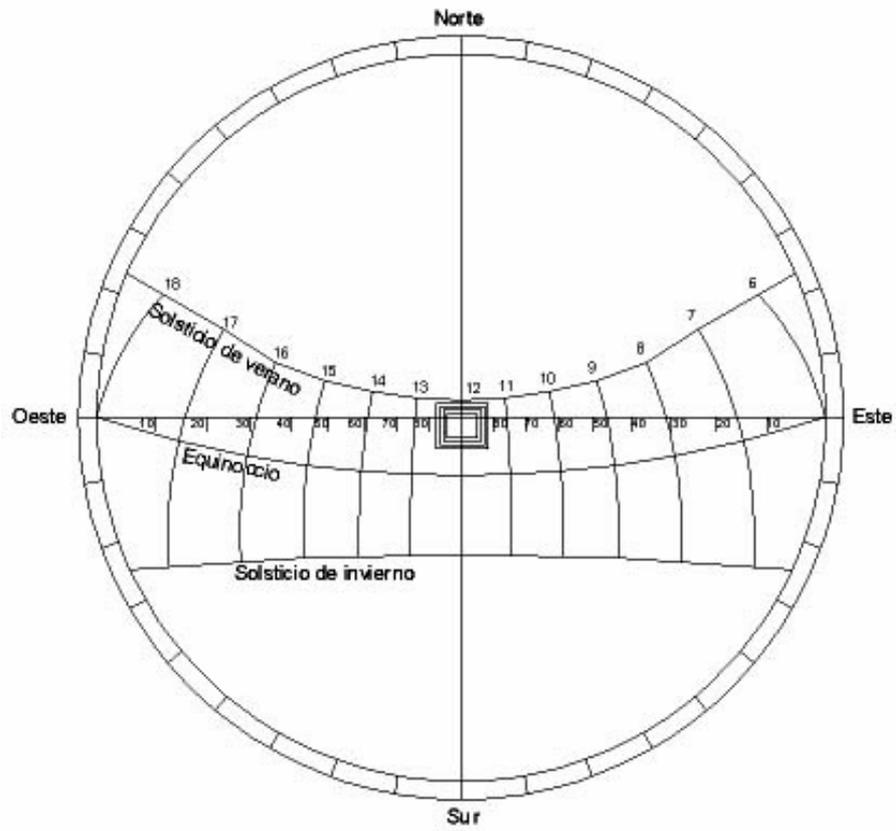
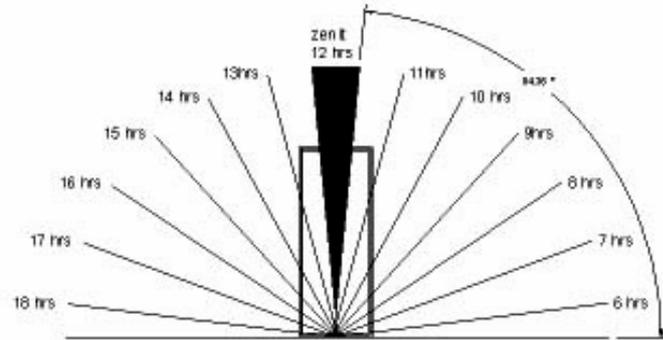


Imagen 40. Incidencia sobre el dispositivo durante el zenit.

El análisis respecto a la incidencia y un perfil de obstrucción solar, sobre la vivienda resulta fundamental para asegurar su funcionamiento. Ya que más del 50 por ciento del edificio se encuentra en posibilidades de lograr captación solar; y la necesidad de ventilación se encuentra presente la mayor parte del año. De igual forma el planeamiento respecto a la entrada y salida de aire del sistema, es necesario.

Respecto a la vivienda unifamiliar de una planta se aplicación, radica en las observaciones anteriores; los casos no recomendados son aquellos en los cuales, no exista la posibilidad de captación de radiación solar. Que también abundan dentro de la ciudad, a los que habría de realizar un nuevo estudio para solucionar estos casos con algún otro sistema.

En este caso no se pueden establecer recomendaciones generales, ya que si algo he aprendido, es que, cada edificio es un caso único de estudio, y que las estrategias aplicadas debieran revisarse en un determinado periodo, motivado por la dinámica de

transformación que sufren las ciudades día a día.

MODELO VERSUS EDIFICIO

De las pautas encontradas en esta investigación, y pasados algunos años desde que se llevaron a cabo estas observaciones, registros y análisis; me involucre en la realización de un estudio de edificios acristalados en la misma ciudad (Villahermosa), en este estudio que terminó en el año 2006, se levantaron registros de temperatura en las oficinas del Instituto de la Juventud de Tabasco, cuyas características son muy semejantes a un prisma acristalado⁵. (Ver imagen 41 y 42)

De estos registros puedo mencionar que se presentan semejanzas, con los registros levantados previamente en este estudio, para lo cual presento el siguiente gráfico correspondiente a varios días del año en cuestión, y relativas al edificio mencionado. (Ver gráfico 31)

⁵ Solo el primer nivel cumple las características de un prisma de cristal.



Imagen 41. Fachada principal del INJUTAB.



Imagen 42. Fachada noreste.



Imagen 43. Equipo de adquisición de datos.

Entre las 13:30 horas y las 15:00 horas se forma una caída de temperatura de los registros, mostrando esa forma de joroba en los registros anteriores y posteriores; semejantes a los registros obtenidos con el modelo de chimenea prismática durante 1999, ver grafico 32; en este grafico se encuentran reunidos los datos de un día de registro del modelo prismático, correspondiente a los cuatro sensores utilizados en su registro, más, un quinto sensor representando al sensor que presentó dicho comportamiento, en el edificio real. De este se observa que la caída máxima de registros se presenta entre las 14:00 y las 14:30 horas, en ambos casos.

Aunque la escala de temperaturas es diferente, se puede apreciar dicho comportamiento; también cabe aclarar lo siguiente:

- a) El sensor 3, utilizado en el modelo se encontraba a la salida del prisma, estando bajo sombra, esto es protegido de la radiación solar directa, a través de un vaso de unicel. Mientras en el edificio en el sensor del edificio se encontraba protegido a través de un tubo de PVC; ambos a la sombra, y ubicados en salidas de aire. se levantaron de forma manual, cada hora; en el caso del edificio el sistema de adquisición fue automático, a cada 30 minutos. (Ver imagen 43).
- b) Los equipos de registro se basaron en termopares, en el saco del modelo los registros
- Si bien se encontraron estas similitudes el problema de escalar a partir de modelos es un tema aun complicado, pero puede resultar posible al momento de esperar comportamientos similares.

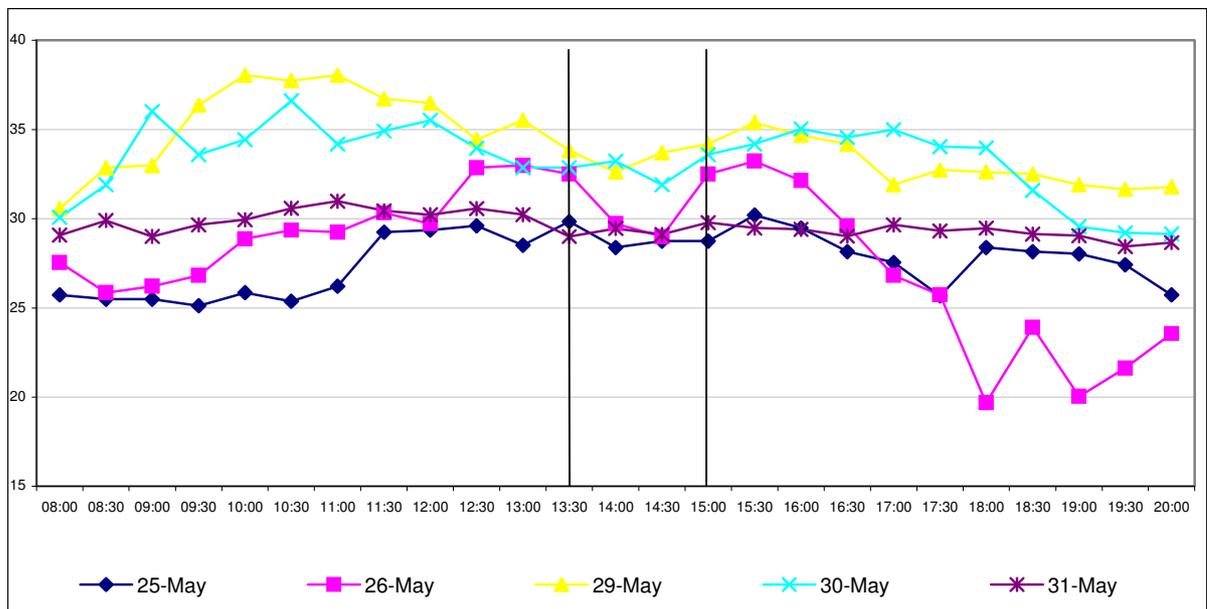


Gráfico 31. Registros de temperatura del INJUDET. 2005

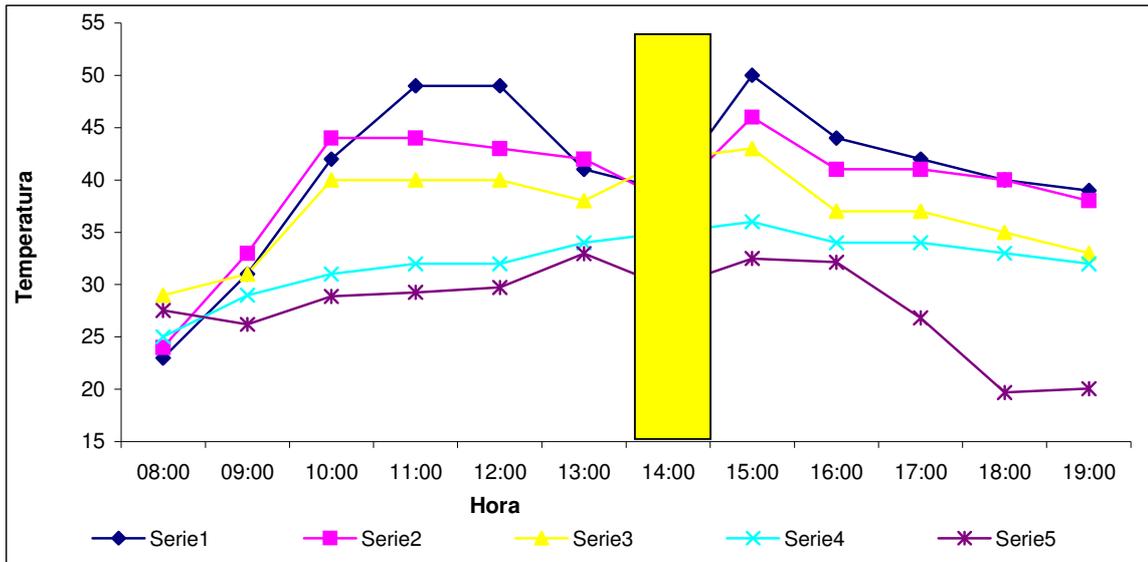


Gráfico 32. Registros de la serie 1 a 4 corresponden a 1999, y la serie 5 al año 2005.

Modelo	Descripción	Observaciones
	<p>El prisma acristalado, con un elemento interno de forma cóncava hacia las orientaciones Este y Oeste.</p>	<p>Los registros mostraron una caída en los registros ubicados en el lado contrario a la incidencia, y el comportamiento no mejoró sustancialmente.</p>
	<p>El prisma acristalado, con un elemento interno de forma ortogonal.</p>	<p>Los registros manifestaron comportamientos inferiores, comparados con los registros levantados, sin la presencia de las secciones opacas.</p>
	<p>Prisma acristalado, con subdivisiones en secciones más pequeñas, dispuestas longitudinalmente.</p>	<p>El comportamiento es muy similar al de la sección de 300 mm.</p>

Tabla. 13. Modelos de ensayos realizados de forma alterna.

CONCLUSIONES

Dentro de la parte de la ventilación inducida por el movimiento convectivo, se puede decir que las observaciones realizadas en modelos a escala dan un punto de partida, para poder diseñar las posibles aperturas de ventilación para una habitación, reduciendo los errores de planeación antes de hacer cualquier acción, y aunque hubiese resultado de gran ayuda la utilización de más equipo, los resultados se consideran satisfactorios.

Dentro de esta parte, la hipótesis que dice:

“La ventilación inducida para una habitación, se favorece durante los intervalos de mayor calor y menor velocidad de vientos dominantes; con relación a la incidencia solar sobre el sistema captor denominado chimenea solar”.

Como resultado del estudio ligado a la hipótesis, puedo decir que se sufre de alteraciones en los

registros tomados para verificar si la chimenea alcanzaba una temperatura máxima, durante las horas de mayor incidencia solar (todo esto se explica en la parte correspondiente)

Así como que dentro de los ensayos realizados en modelos, se dedujo que sería efectivo la utilización de lámina para construir la chimenea, esto no resulta tan satisfactorio como se esperaba, ya que se debieron considerar otros aspectos; como sería la estructura que sustentaría la chimenea en el caso de la lámina, además del sombreado que sufrieron los sensores por la opacidad de la misma, hecho que en los ensayos previos no se visualizó correctamente, y que repercutió en los registros de temperatura, manteniéndolos por debajo de los registros levantados para el prototipo realizado en vidrio.

De las mismas observaciones previas, se consideraba que la corriente de aire entrante al espacio, debía seguir la misma dirección de

entrada hasta alcanzar un obstáculo, momento en el cual cambia su dirección en función al ángulo de incidencia con el objeto; mientras la extracción por convección inducida por la chimenea se transformaba en un flujo laminar dependiente de la temperatura, y de la diferencia entre la densidad que aire tomaba, beneficiando ha éste proceso la circulación de aire a través de la parte alta de la chimenea sin entrar en esta, para incidir en una succión por efecto Venturi.

Las consideraciones en cuanto a los efectos del viento, al incidir sobre la chimenea se consideran mínimos, ya que al cubrir la parte alta en contra de la lluvia, la tapa de la chimenea corta al viento para convertirlo en una corriente horizontal; pero es más interesante pensar que la presión del viento al entrar por puertas y ventanas al mismo tiempo, incrementa el empuje de adentro hacia fuera de la corriente de aire, haciendo pasar el aire caliente hacia el exterior de la habitación, sin introducir aire caliente a través de la chimenea hacia el interior. Pero, si consideramos que las ráfagas de viento que podrían

tener mayor efecto para invertir el proceso que se busca en una chimenea solar, se presentan antes o durante una lluvia, para ese entonces la temperatura del aire ambiente es bastante bajo, como para absorber la temperatura de las paredes de la chimenea, ya sea realizada en lámina o en vidrio, esto debido a la baja masa térmica de los materiales que la conforman.

Otra circunstancia que cabe mencionar es la discrepancia en cuanto a los datos de velocidad del viento registrados por el Meteorológico Nacional, que registraban velocidades de entre 0.5 a 1 m/s para los vientos dominantes, con escasos registros de velocidades por encima de los 3 m/s, mismos que se presentan en la víspera de cualquier lluvia, esta observación quizá no tenga la suficiente fundamentación, pero considerando la circunstancia de que los vientos que se presentaron, en algunas ocasiones durante mi estancia en el área, llegaron a derramar algunos árboles sin que estos estuvieran, o al menos dejaran ver alguna carencia de vitalidad.

Es conocido que los modelos realizados a escala iban a diferir en gran parte de los ensayos realizados en campo, sí como parte complementaría de este estudio se registran ciertas observaciones complementarias al mismo.

- Del rango de confort estimado por la ecuación de Aluciems $17.6+0.31Tm^1 \pm 2.5$ °C, considerando la media mensual de los registros máximos y mínimos, correspondientes a los meses en los cuales se fue a campo. Lleva a discrepancias en a la expresión de la gente expuesta a rangos de entre 24.9 y 29.9 °C de temperatura. Reforzando esta idea se encuentran algunos casos expresados por gente de la zona, que llega a expresar ligeras sensaciones de frío alrededor de los 25 °C aproximadamente, además de no sentirse tan incómodos pasados los 31 °C.
- Durante el desarrollo de las pruebas realizadas bajo condiciones ambientales de un

clima cálido húmedo, las temperaturas registradas mediante sensores (termopares tipo J), los cuales tienen un rango de entre 0 y 500 grados centígrados. La idea principal de estas mediciones se basa en un punto de discrepancia que tengo acerca de cual es la diferencia de temperaturas entre una chimenea, el medio ambiente y un local.

- Mis propuestas originales eran en el sentido de que las mayores temperaturas se deberían presentar durante las horas de mayor radiación solar, esto sería alrededor de las 13:00 hrs, por el horario de verano, pero tal aseveración se contradice en los registros levantados, las mayores temperaturas en chimenea se presentaron antes o después de esta hora. La explicación que puedo dar, es que la verticalidad de los rayos solares al incidir sobre la chimenea provoca la reflexión de los rayos solares, así los modelos ya sean de lámina, cristal o la combinación de ambos, se ven influenciados directamente por esta causa.

¹ Temperatura media mensual.

-
- De este punto se puede obtener cierta ventaja, ya que las temperaturas más altas en el interior de las habitaciones se presentan después de las 15:00 hrs.
 - Bajo condiciones de un día soleado y de acuerdo a los registros tomados, este fenómeno se ve acentuado. Durante condiciones de cielo nublado se suaviza este fenómeno.

Del modelo de chimenea solar realizado en cristal con respecto al modelo de lámina, existen diferencias.

- Las características físicas y químicas de los materiales repercuten en su comportamiento, mientras el metal necesita incidencia solar directa, el cristal con muy poca radiación solar (difusa, puede elevar su temperatura fácilmente)
- Los ejemplos en lámina no excedieron los 44 grados, mientras que el realizado en cristal, alcanzó los 50 fácilmente. Pero la combinación de cristal y

lámina como absorbente solar provocaron temperaturas de hasta 58 grados.

- Hasta el momento se observó que el fenómeno de chimenea solar y el tiraje térmico que puede suscitarse, depende de la temperatura de la chimenea solar.
- El recurrir a esquemas de libros no es necesariamente la respuesta idónea para estimar el efecto de la aplicación de un sistema pasivo de enfriamiento.
- Los fenómenos asociados con el fenómeno de chimenea se presentaron, pero no representaron un medio idóneo del desalojo de aire de manera natural.
- Las corrientes de aire favorecen la evacuación de este desalojo, provocando turbulencias en el interior del espacio.
- Resultando de vital importancia los planteamientos a partir de modelos a escala, ya que de esta manera se puede visualizar el fenómeno sin provocar gastos innecesarios.

➤ Hasta el momento los planteamientos teóricos se quedan cortos, con la observación directa del fenómeno de extracción de aire sobre la base de ventilación inducida.

Los análisis de los patrones de viento de la climatología del lugar, muestran que puede ser insuficiente la velocidad de viento como para sugerir un sistema de ventilación natural, durante la época de calor para dicha ciudad, lo cual refuerza el presente estudio.

Otra propuesta de cómo podría elevarse más la temperatura de la chimenea en cristal fue, la idea de realizar espacios más angostos, pero esto resulto de un comportamiento que no se esperaba, el poner capas de cristal provoca un fenómeno de sombreadamiento sobre los compartimentos posteriores que reciben la radiación solar directa, esto se capta directamente al iniciar el registro de datos por la mañana, haciendo variar la temperatura de uno y otro compartimiento en un grado de diferencia, en un inicio y con el transcurrir del tiempo ésta diferencia se disipa.

Cabe destacar que del estudio en campo se nutre el conocimiento de datos tal vez matizados u ocultos, al igual se verifica que los datos registrados por el Servicio Meteorológico Nacional no marcaban velocidades de viento mayores a 0.6 m/s para el mes de julio, siendo que al precipitarse la lluvia ésta puede generar vientos capaces de desgarrar árboles, por lo que deduzco que su velocidad debería ser superior a los 3 m/s.

Además de que no existen registros de temperaturas interiores de edificios de tal o cual característica. Sería de gran importancia el tener una base de datos reales de edificios en ésta zona del Sureste de México, sería interesante saber bajo que circunstancias de temperatura se encuentran expuestos los habitantes de este lugar, porque desde mi punto de vista; me es intolerable encontrarse en una habitación con temperaturas del orden de los 33 a los 39 °C.

La combinación de temperatura y humedad bajo el punto

de vista de los principales medios de afectación de la comodidad, pasan por un filtro que pudiera definirse como la aclimatación, que tiene la gente a ésta condición climática.

Otro punto que pudiera tener relevancia, y que se presentó, es el hecho de que la gente piense que un sistema pasivo como éste, le presente una respuesta como la podría tener de un medio mecánico. Siendo que la respuesta es tal y como su nombre lo describe "pasiva", el desplazamiento del aire por este medio, se considera como el desplazamiento realizado en un medio bastante viscoso y aunque la corriente provocada, este en función de la temperatura alcanzada y de sus dimensiones, no implica que el sistema se encuentre contribuyendo al sobrecalentamiento de un espacio.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLAN, Konia; **Diseño en Climas Cálidos**; Edit. Blume; 1981.
- ANDERSON, Bruce; **Guía Fácil de la Energía Solar Pasiva**; Ed. G. Gili; México, D.F., 1984.
- ANDERSON, Bruce; **Solar Energy: Fundamentals in Building Design**; Edit. McGraw Hill; Unites States of America; 1977.
- ASHRAE; **Handbook and production**; 1977.
- ASHRAE; **Handbook of heat Transfer Applications**; 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.
- MARÍA; Montaner Joseph; **Después del movimiento moderno, Arquitectura de la segunda mitad del siglo xx**; 4ª Edición; Edit. G. Gili; Barcelona; 1999.
- 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.
- MILLS, A.F.; **Transferencia de Calor**; versión en español; Edit. McGraw-Hill/Irwin; Colombia; 1995.
- 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.
- OLGAY 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.
- **PLEA 80, Australia**; Edit. Pergamon Press; Australia; 1980.
- **PLEA 84, México**; Edit. Pergamon Press; México; 1984.
- PUPPO, Ernest; **Acondicionamiento Natural y Arquitectura**; Edit. Marcomb Editores, 2a Edición; Barcelona, 1979.
- PUPPO, Ernest, 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.
- YANNAS, Simon; **Solar Energy and Housing Desing**; Architectural Association; Vol. 1; Londres; 1994.
- YAGHOUBI, M. A., A Sabzevari y A. A. Golneshan; **Wind Towers: Measurement and Performance; Solar Energy**; Vol. 47; No 2; U.S.A.; 1991.
- WACHBERGER, Michael; **Construir con el Sol**; Ed. G. Gili; Barcelona, 1984.