

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

**SISTEMA DE AIREACIÓN INDUCIDA  
PARA REDUCIR LOS RIESGOS DE HUMEDAD  
INTRAMUROS  
CASO DE ESTUDIO PARA EL TRÓPICO HÚMEDO**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN ARQUITECTURA  
EN LA LINEA DE TECNOLOGIA**

**POR**

**AÍDA LÓPEZ CERVANTES**

**FEBRERO 2010**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.



**COMITÉ TUTOR**

**DR. JOSE DIEGO MORALES RAMÍREZ**

**DRA. MARIA MILAGROSA PÉREZ SÁNCHEZ**

**MTRO. FRANCISCO REYNA GÓMEZ**



## **SÍNODO**

**DR. JOSE DIEGO MORALES RAMIREZ**

**DRA. MARIA MILAGROSA PÉREZ SÁNCHEZ**

**MTRO. FRANCISCO REYNA GÓMEZ**

**DR. HERMILO SALAS ESPÍNDOLA**

**DRA. DOLORES ANA FLORES SANDOVAL**

## CONTENIDO

<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>

### CAPITULO I

#### ANTECEDENTES DE LOS ESTUDIOS SOBRE VENTILACIÓN INDUCIDA Y DESHUMIDIFICACIÓN

<b>I.1 El referente internacional y nacional</b>	<b>13</b>
<b>I.2 Procesos de ventilación y deshumidificación</b>	<b>19</b>
Referentes generales	<b>21</b>

### CAPITULO II

#### CONCEPTOS SEMÁNTICOS SOBRE HUMEDAD EN LA EDIFICACIÓN

<b>II.1 Conceptos generales</b>	<b>25</b>
El edificio como sistema dinámico	<b>25</b>
Sistemas de enfriamiento pasivo	<b>27</b>
Efecto Chimenea	<b>30</b>
Muro Trombe	<b>33</b>
Efecto de Venturi	<b>35</b>
<b>II.2 Mecanismos de enfriamiento imbricados en el sistema propuesto</b>	
<b>Convección</b>	<b>36</b>
<b>Conducción</b>	<b>38</b>
<b>Radiación</b>	<b>40</b>
<b>Evaporación</b>	<b>41</b>
<b>Efectos de ventilación</b>	<b>42</b>
<b>Ventilación y cargas térmicas</b>	<b>43</b>
<b>Mecanismos de funcionamiento</b>	<b>44</b>

<b>Análisis de los efectos de la ventilación natural en las edificaciones</b>	<b>44</b>
<b>II.3 Humedad en la edificación</b>	<b>48</b>
Condensación y humedad	50
Condensación	51
Condensación intersticial	52
<b>II.4 Procesos psicrométricos</b>	<b>52</b>

**CAPITULO III  
DETERMINACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO**

<b>III.1 Presentación del problema</b>	<b>59</b>
Planteamiento teórico del problema	60
<b>III.2 Determinantes para el sistema físico</b>	<b>61</b>
<b>III.3 Metodología para el desarrollo del prototipo experimental</b>	<b>62</b>
Planteamiento del SAI	62
<b>III.4 Planteamiento del proceso experimental</b>	<b>63</b>
Descripción del sistema	66
Proceso experimental	66
Esquema del funcionamiento del SAI	67
<b>III.5 Desarrollo del prototipo</b>	<b>68</b>
Esquemas de los prototipos	68
<b>III.6 Proceso constructivo del sistema arquitectónico experimental</b>	<b>71</b>
<b>III.7 Procesos constructivos del sistema de aireación</b>	<b>72</b>
<b>III.8 Instrumental</b>	<b>74</b>
Propuesta de localización del instrumental	76
Colocación del instrumental	77

**CAPITULO IV  
PRESENTACIÓN DE LOS DATOS Y RESULTADOS**

<b>IV.1 Ruta de análisis</b>	<b>83</b>
<b>IV.2 Análisis estadístico</b>	<b>84</b>
<b>1ª FASE</b>	
<b>IV.2.1 Resultados por orientación y gráficos de la primera fase</b>	<b>84</b>
<b>Muro norte</b>	
Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro	
Comparación entre muros sin SAI y muros con SAI	
<b>Muro sur</b>	
Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro	
Comparación entre muros sin SAI y muros con SAI	
<b>Muro este</b>	
Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro	
Comparación entre muros sin SAI y muros con SAI	
<b>Muro oeste</b>	
Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro	
comparación entre muros sin SAI y muros con SAI	
<b>Síntesis de los resultados de la primera fase</b>	<b>101</b>
<b>Validación de la hipótesis para los resultados de la primera fase</b>	<b>103</b>
<b>2ª FASE</b>	
<b>IV.2.2 Resultados por orientación y gráficos de la segunda fase</b>	<b>104</b>

<b>IV.2.2.1</b>	<b>Diferencia del comportamiento higrotérmico del aire entre el punto de inyección y el punto de eyección</b>	<b>104</b>
	Muro Norte sin SAI	
	Muro Norte con SAI	
	Muro Sur sin SAI	
	Muro Sur con SAI	
	Muro Este sin SAI	
	Muro Este con SAI	
	Muro Oeste sin SAI	
	Muro Oeste con SAI	
	<b>Síntesis de los resultados de este apartado</b>	<b>107</b>
<b>IV.2.2.2</b>	<b>Diferencia del comportamiento higrotérmico entre el muro sin SAI y el muro con SAI</b>	<b>109</b>
	Muro Norte zona de inyección	
	Muro Norte zona de eyección	
	Muro Sur zona de inyección	
	Muro Sur zona de eyección	
	Muro Este zona de inyección	
	Muro Este zona de eyección.	
	Muro Oeste zona de inyección	
	Muro Oeste zona de eyección	
	<b>Síntesis de los resultados de este apartado</b>	<b>112</b>
<b>IV.2.2.3</b>	<b>Comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en al red principal y el punto de inyección</b>	<b>113</b>
	Muro Norte	
	Muro Sur	
	Muro Este	
	Muro Oeste	



<b>Síntesis de los resultados de este apartado</b>	<b>115</b>
<b>IV.2.2.4 Comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en al red principal y el punto de eyección</b>	<b>115</b>
<b>Muro Norte</b>	
<b>Muro Sur</b>	
<b>Muro Este</b>	
<b>Muro Oeste</b>	
<b>Síntesis de los resultados de este apartado</b>	<b>117</b>
<b>IV.2.2.5 Diferencia del microclima interno y el aire en la red principal</b>	<b>118</b>
<b>IV.2.2.6 Comportamiento higrotérmico entre el microclima y el aire de la zona de eyección</b>	<b>118</b>
<b>Muro Norte</b>	
<b>Muro Sur</b>	
<b>Muro Este</b>	
<b>Muro Oeste</b>	
<b>Síntesis de los resultados de este apartado</b>	<b>120</b>
<b>IV.2.2.7 Diferencia entre el clima exterior y el aire de la zona de eyección</b>	<b>120</b>
<b>Muro Norte</b>	
<b>Muro Sur</b>	
<b>Muro Este</b>	
<b>Muro Oeste</b>	
<b>Síntesis de los resultados de este apartado</b>	<b>122</b>
<b>IV.2.2.8 Diferencia del las condiciones higrotérmicas entre le microclima interior y el clima exterior</b>	<b>122</b>
<b>Síntesis de los resultados de esta etapa</b>	<b>124</b>

IV.2.2.9 Influencia de la radiación en el aire eyectado	124
Orientación Norte	
Orientación Sur	
Orientación Este	
Orientación Oeste	
IV.2.2.10 Comportamiento del viento	126
IV.3 Análisis psicrométrico	127
IV.4 Resumen de los resultados	130
CAPITULO V	
CONCLUSIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	145

## PRESENTACIÓN

La arquitectura como cualquier disciplina tiene el deber de responder a los retos ante el cambio climático y en este afán de inclusión se realizan propuestas de prevención, uso y restablecimiento de edificios, comunidades y asentamientos humanos impactados en algún momento por el clima. Las afectaciones pueden ser de mayor o menor rigor pero en todo caso atañen directamente al ser humano, por ello los profesionales de la arquitectura tenemos la responsabilidad de asumir los retos como oportunidades para un mejor futuro de credibilidad.

El desarrollo sustentable es una buena premisa para abordar estos problemas y a finales del siglo XX las cumbres de la tierra en la preocupación por la destrucción del entorno natural que la actividad humana ha generado con el consecuente deterioro del medio ambiente, condujeron a la arquitectura a mirar hacia las fuentes de energía alterna en el entendido de la importancia de cuidar los recursos naturales.

Existe, sin embargo, el riesgo de que el discurso de la sustentabilidad no traiga cambios sustantivos y que pueda ser reducido a un simple diseño de mercadotecnia, por lo que es necesario buscar modelos de desarrollo en los cuales otros valores como la autonomía, solidaridad y responsabilidad puedan sumarse al valor ecológico.

Continuamente el concepto de sustentabilidad es tratado sólo como un conveniente ideológico y como estrategia política. Más allá existe la carencia de criterios específicos y leyes precisas del manejo urbano ambiental, lagunas en la literatura y fallas por falta de experimentación que busquen sustentabilidad para lugares específicos. La respuesta ha sido más lenta que el avance de la problemática y actualmente un amplio sector del diseño y planificación urbana han soslayado el problema cortando de tajo la relación del edificio con el contexto y la posibilidad de diálogo entre el espacio y las estructuras edilicias. De hecho Jaime López refiere muy bien tal rompimiento de la arquitectura al argumentar: “si en los últimos 50 años la humanidad ha aceptado cualquier tipo de techo o abrigo que le permitiera desarrollar su vida en unas condiciones mínimas de confort, hoy reconoce y afirma descaradamente que las nuevas ciudades, aparte de ofrecer un techo y cuatro paredes no han conseguido satisfacer las necesidades sociales y culturales e incluso técnicas que nuestra época exige”<sup>1</sup>. En este mismo tenor al citar Salas a Erick J. Hobsbawm advierte “el proceso cultural al que ha sido sometido el medioambiente, no es beneficio de la vida misma, ya que su expectativa natural tiende a la muerte del plantea.”<sup>2</sup> (Salas: 1997:17) y adelante continua diciendo que la visión global no puede limitarse a la medición de fenómenos ya que se corre el riesgo de hacer a un lado el análisis y aprehensión de las acciones humanas que los provocan. Y señala que el sistema económico no está siendo capaz de guardar un equilibrio entre naturaleza y desarrollo, ya que dicho sistema no parte de lo ecológico.

Ante éste panorama podemos observar actualmente cómo las noticias diariamente presentan reportes del colapso de ciudades en diversos puntos del planeta, ciudades que son altamente industriales o desarrolladas y que como resultado de la alta concentración de riquezas en ellas

---

<sup>1</sup> En González, Rafael, 1994:9

<sup>2</sup> *Ibid.*

o los altos índices de pobreza en otras, han devastado sus propios recursos naturales de sostenimiento mínimo y sobrepasado sus propios límites. En ambos casos los individuos dependen de los riesgos del medioambiente, unos para sostener sus riquezas y los segundos para salir de su pobreza.

A pesar de este panorama, y como parte de las respuestas a esta necesidad global de preservación del medioambiente, investigadores del área bioclimática han llevado a cabo estudios que intentan relacionar la arquitectura a su contexto, al respecto Salas comenta “Todo espacio requiere de una nueva visión de la interrelación entre arquitectura y su entorno, así como urbanismo y naturaleza... La idea de conocer el problema ambiental desde la arquitectura no solo fue para demostrar el problema y su relación con ella, sino para establecer los posibles caminos de investigación en una alternativa que en este momento está considerada como una de las mas importantes: y es la del Cambio Global a partir de enfoques de Desarrollo Sustentable”<sup>3</sup>(Salas: 1997:7).

En el interés de contribuir a la generación de conocimiento que ofrezca a la sociedad alternativas viables para el confort ambiental, ahorro energético y que disminuyan los problemas propios de la edificación en el clima cálido húmedo se desarrolla esta investigación.

---

<sup>3</sup> HERMILO Salas Espíndola, IMPACTO DEL SER HUMANO EN EL PLANETA, , EDAMEX SA de CV y Salas Espíndola, México, 1997





## INTRODUCCIÓN

Son innegables las problemáticas actuales que los asentamientos humanos enfrentan con el cambio climático y sus consecuencias ambientales. Muchas ciudades y poblaciones rurales están siendo afectadas por sequías, fuertes lluvias, tormentas, ciclones, inundaciones, en épocas y escalas que antes no habían sido registradas, tales situaciones han logrado que algunos grupos sociales, los gobiernos y la empresa privada tiendan sus redes en busca de alternativas que contribuyan a disminuir los rigurosos impactos del ambiente, sobre todo en lo concerniente a las actividades humanas que traen como consecuencia dicho impacto, que en todo caso es en lo que podemos intervenir.

Actualmente se realizan diversos trabajos de investigación que incluyen los ámbitos económico, ecológico, cultural, social y político; sin embargo, las recomendaciones o resultados y su difusión no siempre llegan a la población afectada, pareciendo así que el problema es de todos y de nadie, por eso es importante, y si bien es cierto debemos comenzar por nosotros mismos, reconocer que nuestra labor debe repercutir más allá de las fronteras de nuestro círculo llámese familia, aula, trabajo, y tratar de apoyar a una población mayor. No sólo con políticas, leyes y normas, sino con iniciativas y productos de impacto directo.

Los mecanismos más comunes para hacer escuchar y difundir propuestas para el cuidado del medioambiente y las estrategias ante el cambio global son los diversos foros ambientalistas. Estos buscan alcanzar y sostener una “calidad de vida”, que deberá adoptar patrones de consumo en función del respeto del medioambiente, responder a la particular forma de cada sociedad y al ser humano, en palabras de Salas (1997) regresar a la escala humana.

En este regreso a la escala humana, han sido palpables diversas necesidades particulares de la arquitectura bioclimática como:

- Hacer al diseñador partícipe en la toma de decisiones que repercutan en la eficiencia térmica y energética del edificio desde el proceso de proyección.
- Desarrollar herramientas que proporcionen respuestas propias a necesidades concretas de los habitantes, planteadas de forma sistemática para la resolución eficiente energética y térmicamente.
- Entender y asimilar que la plataforma económica, científica y tecnológica de nuestro país debe ser determinante en la toma de decisiones acertadas, lo que nos lleva a considerar como opción la *transferencia de tecnología*. En el entendido que la transferencia de tecnología, además de ser el traspaso de las habilidades teóricas y el *know how* del propietario a los usuarios, incluye el complejo proceso de compartir o adaptar tecnologías para que se acomoden a las condiciones locales y conforma una oportunidad de aumentar la capacidad tecnológica humana en los países en desarrollo.

Por ello surge la necesidad de hacer de la investigación arquitectónica un campo multidisciplinario que dé resultados accesibles a la formación del arquitecto permitiéndole el uso y manejo del conocimiento para la construcción de sus propios análisis bioclimáticos y respuestas edilicias, llegando necesariamente a la *frontera del conocimiento propio de la disciplina*.

Las investigaciones que abordan el tema planteado aquí son diversas desde la perspectiva de la condensación y la humedad, si bien muchas de ellas se remiten al ámbito de la ingeniería, en donde las estrategias generadas se aplican en la industria mecánica, ahora por fortuna, muchos son los investigadores de la arquitectura que se están abriendo paso en este campo y llevando los resultados al área de la arquitectura en aras de edificios y ciudades más eficientes energética y térmicamente.

La presente investigación tiene como propósito atender a una población específica afectada por las inundaciones y las particularidades del clima en la región del cálido húmedo para la República Mexicana. Este sector afectado es primordialmente de escasos recursos económicos por lo que sus viviendas pueden verse en proceso de construcción durante un largo periodo de tiempo que abarca varios años. La construcción así, es realizada generalmente de block hueco cemento-arena por ser de fácil acceso en el mercado local y precio accesible. Este material al ser afectado por la lluvia y la humedad se deteriora haciéndolo inclusive nocivo para los habitantes, además de los altos costos que su rehabilitación representa y que en muchos casos ni siquiera son rehabilitados a fondo, sino que únicamente se arreglan por fuera y por dentro siguen húmedos, lo que ocasiona con el tiempo, que la humedad salga, ya sea botando la pintura o en forma de manchas de hongo en periodos de muy poco tiempo.

Se propone en esta investigación un aireador pasivo intramuros, denominado “Sistema de Aireación Intramuros” (SAI) con el que se pretende ayudar en el proceso de secado de los muros afectados por inundaciones y humedades comunes al clima. El aireador consiste en introducir aire fresco por la parte inferior a las cavidades del muro y hacer que recorra la cavidad verticalmente hacia arriba, extrayendo el aire por la parte superior del muro hacia el medioambiente exterior. El SAI toma importancia porque permitirá un mejor mantenimiento de las edificaciones evitando su rápido deterioro causado por la humedad que se produce en los muros además de ser útil para evitar altas condensaciones en edificaciones nuevas y las que ya han sido afectadas por las inundaciones

El impacto del SAI se verá reflejado en la disminución de los gastos por mantenimiento de los edificios, en la prevención del impacto por la humedad en la edificación, en la disminución del uso de sistemas mecánicos de climatización artificial, en la administración particular y global de los recursos energéticos y en la protección al medio ambiente.

El trabajo aborda el análisis de las diferencias que se dan en el comportamiento higrotérmico del flujo de aire dentro de las cavidades formadas por el muro de block hueco y se llevó a cabo para determinar la eficiencia del flujo de aire forzado en la disminución de los rangos de humedad



relativa y temperatura contenidos en el muro. El estudio de las condiciones higrotérmicas bajo la presencia del SAI, toma importancia al suponer la necesidad de airear los muros para reducir los riesgos de condensación.

La hipótesis plantea que: Un sistema de aireación inducida que se haga funcionar al interior de los muros aprovechando la cavidad de los materiales y el calentamiento de losas y muros, permitirá la disminución de la temperatura y la humedad relativa en la cavidad de los muros durante el día, minimizando por la noche los efectos de condensación que deterioran el material arquitectónico.

Se considera que por las noches durante los momentos de emisividad, es cuando se produce la mayor condensación, ya que son las horas en que mayor diferencia hay entre la temperatura acumulada en el material y la temperatura del ambiente. Así que si se minimiza esta diferencia, la probabilidad de alcanzar el punto de rocío en algún punto interno del muro, también disminuye, al igual que los riesgos de condensación. Las diferencias disminuirían porque durante el día se ha hecho circular aire por la pared interna del muro, evitando un calentamiento excesivo gracias al enfriamiento por convección. El flujo constante de aire mantendría más baja la temperatura del material y expulsaría la humedad disminuyendo los índices de humedad relativa.

La investigación tuvo como objetivo general estimar la eficiencia de la aireación inducida a través de las cavidades intramuros para minimizar la condensación en interiores de muros en el clima cálido húmedo, con el fin de aplicarlo en un sistema físico. Para que tal objetivo se alcanzara se plantearon los siguientes objetivos particulares:

- Diseñar un sistema físico de flujos para inyección y eyección de aire al interior de un muro llamado SAI (Sistema de Aireación Inducida).
- Determinar experimentalmente la eficiencia de los flujos del sistema de aireación.
- Estimar la eficiencia de la aireación inducida en la disminución de la condensación en interiores de muros.
- Explicar el comportamiento higrotérmico del muro o cerramiento.
- Determinar cómo intervienen las variables de radiación y viento por orientación en la disminución de condensación del muro.
- Analizar los resultados del proceso adiabático en la carta psicrométrica.

El proceso de la investigación consistió en un planteamiento a priori del comportamiento del sistema, el cual fue probado experimentalmente y validado estadísticamente; se analizaron también los procesos adiabáticos que en él se presentaron. El análisis de los datos y resultados se apoyó en la inferencia estadística para corroborar la teoría confrontada al proceso experimental.

Con base en la experimentación permitió la construcción de modelos a escala para lograr el adecuado funcionamiento y su adaptación a los sistemas arquitectónicos.

El estudio consistió en aprovechar el calentamiento por radiación y temperatura ambiente que se genera en las losas y muros como fuente de energía del sistema y con lo que se logra el efecto chimenea a través de una red de tuberías que conforman el *sistema de eyección* de aire caliente, al mismo tiempo se inyecta aire frío a la edificación y específicamente al muro por medio de otra red de tuberías que forman un *sistema de inyección*. Con base en el principio de Venturi, el aire frío es succionado por el aire caliente a través de la cavidades del material constructivo en forma ascendente, y habiendo creado una disminución en los diámetros del sistema de eyección, se logra un aumento de presión para favorecer el flujo del aire, arrastrando las partículas de vapor y expulsándolas a través del sistema eyector.

Desde la perspectiva de la arquitectura bioclimática fue importante determinar la factibilidad de basarse en el efecto de succión por diferencias de presión, ya que es un principio que puede ser considerado como parte del programa del proyecto arquitectónico. Además con el fin de que el estudio permaneciera anclado al campo de la arquitectura fue importante, posterior a la determinación estadística, estudiar la relación de los fenómenos con el espacio urbano arquitectónico.

Para el levantamiento de datos se tomaron ciclos diarios divididos en horario matutino de las 6:00hrs a las 17:00hrs y en horario nocturno del las 18:00hrs a las 5:00hrs en condiciones ambientales reales con un intervalo de tiempo típico, que permitió obtener un campo de datos suficiente para su validación estadística.

Los instrumentos utilizados fueron *micro estaciones HOBO WEATHER STATION*, para: temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial, humedad de suelo, velocidad y dirección de viento, radiación solar, presión barométrica.

Determinados los principios teóricos y los retos experimentales se comenzó con los modelos físicos de aireación, para ello fue necesario construir el modelo arquitectónico. En orden de comparar el comportamiento de los muros con el SAI y sin él, se propuso que la construcción arquitectónica fuera una sola, obteniendo como ganancia que las condiciones ambientales, de orientación, de relación con el entorno y de disposición fueran iguales para cada lado en que serían probados los muros simultáneamente uno con sistema de aireación y el otro sin sistema de aireación. El sistema arquitectónico por su parte, consta de zapata corrida para la cimentación, firme de concreto, muros de block hueco y losa de panel de poliuretano revestida con concreto.

Definido el sistema arquitectónico y con lo preliminares del funcionamiento del SAI, se prosiguió ensamblar los dos sistemas.

Los datos se analizaron en concordancia con los objetivos planteados. Los resultados que se obtuvieron fueron diferentes para cada orientación, de ahí la importancia de presentar los datos para su inferencia con otros factores como la radiación y el viento y su condición en el espacio

urbano arquitectónico. Los patrones que se obtuvieron responden parcialmente al planteamiento de la hipótesis en cuanto a la disminución en los rangos de temperatura y humedad según la orientación.

Los resultados muestran que en presencia del SAI, durante el horario nocturno, los muros registraron menores diferencias con la temperatura ambiente en un mayor porcentaje que los muros sin SAI, aunque la respuesta fue positiva a lo esperado fue poco contundente. La HR se mantuvo más baja en el interior de los muros que la contenida en el aire exterior para todas las orientaciones, sin embargo fue más baja la contenida en los muros sin SAI que la de los muros con SAI para la mayor parte de los registros. El enfriamiento esperado de los muros con SAI de la zona de inyección a la zona de eyección se dio en la mayoría de los casos.

Puede concluirse que los rangos de temperatura son menores en los muros con SAI; que los comportamientos más estables durante un día típico, tanto de temperatura como humedad relativa, se presentaron con mayor frecuencia en los horarios nocturnos, en los muros con SAI.

El análisis determina que la ventilación inducida en el muro afecta los índices higrotérmicos, sin embargo la eficiencia del SAI fue determinada con el análisis y correlación de los factores restantes propuestos por el planteamiento hipotético.

La tesis se estructuró en cinco capítulos que van de lo general a lo particular, es decir desde el análisis teórico y planteamiento general del sistema hasta el práctico y específico para cada orientación. En el primer capítulo se expone el referente de otras investigaciones y campos referentes al problema planteado. El segundo capítulo corresponde a los conceptos teóricos desde los que es abordado el problema. El tercer capítulo es de carácter metodológico y en él se explican y presentan los pasos que se siguieron desde el planteamiento del problema, su contexto general y particular, su marco teórico y el desarrollo de prototipos hasta el levantamiento de los datos. El cuarto capítulo aborda el análisis y síntesis de los datos, éste capítulo trata básicamente el análisis cuantitativo de los datos como temperatura, humedad relativa, radiación y viento analizados por orientación y confrontados entre los muros sin SAI y los muros con SAI. El capítulo cinco presenta las conclusiones de acuerdo a cada objetivo planteado y permite la verificación del cumplimiento de la hipótesis. Este mismo capítulo permitió abrir un espacio de propuestas y mejoras al SAI que plantean nuevas investigaciones.





## **CAPITULO I**

# **ANTECEDENTES DE LOS ESTUDIOS SOBRE VENTILACIÓN INDUCIDA Y DESHUMIDIFICACIÓN**





## CONTENIDO

### I. ANTECEDENTES DE LOS ESTUDIOS SOBRE VENTILACIÓN INDUCIDA Y DESHUMIDIFICACIÓN

I.1 El referente internacional y nacional.....	13
I.2 Procesos de ventilación y deshumidificación.....	19
Referentes generales.....	21





## I. ANTECEDENTES DE LOS ESTUDIOS SOBRE VENTILACIÓN INDUCIDA Y DESHUMIDIFICACIÓN

### I.1 El referente internacional y nacional

En estudios sobre condiciones higrotérmicas en edificaciones puede mencionarse el realizado por Czajkowski<sup>1</sup> (1996), que se basa en el análisis de reducción de riesgo de condensación intersticial para determinar valores mínimos de aislación térmica para soluciones típicas de muros y techos. El proyecto se denomina “Condiciones higrotérmicas mínimas de muros y techos para la provincia de Buenos Aires”<sup>2</sup>, propone las condiciones higrotérmicas mínimas que se deben cumplir según la región bioclimática. En forma general la metodología definida por Czajkowski et Rosenfeld fue la siguiente:

- Definición de días tipo determinantes del diseño, según la zona bioclimática.
- Determinación de las tipologías constructivas y adopción de condiciones higrotérmicas mínimas.
- Determinación de las condiciones que generan riesgo de condensación.

Algo interesante del estudio es la construcción del software de análisis higrotérmico para verificar el riesgo de condensación.

“El análisis determina la resistencia térmica y el vapor total y parcial del elemento, el coeficiente K, las capas donde se puede producir riesgo de condensación y un gráfico, proporcionando los valores mínimos sugeridos para evitar la condensación intersticial en los componentes constructivos de muros y techos”<sup>3</sup> (1996:2).

---

<sup>1</sup> Czajkowski ha desarrollado diversos estudios relacionados con las condiciones higrotérmicas de habitabilidad en Buenos Aires. Ver <http://jdczajko.tripod.com/curiculum>

<sup>2</sup> CZAJKOWSKI Jorge D. et E. Rosenfeld, *CONDICIONES HIGROTÉRMICAS MÍNIMAS DE MUROS Y TECHOS PARA LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES*, 16ª reunión de Trabajo de ASADES, La Plata, 1993.

<sup>3</sup> CZAJKOWSKI 1993, *Ibidem*



Las soluciones que Czoajkowski sugiere para los ladrillo huecos, es la utilización de otros materiales adicionales a los sistemas de construcción tradicionales como pinturas de baja permeabilidad al vapor, “...esto reduciría el espesor del aislante térmico en un 75%”<sup>4</sup> (1996:4)

Existen algunas normas para establecer las condiciones mínimas aceptables en el acondicionamiento de espacios al respecto de los riesgos de condensación, entre estas reglas están las de Argentina IRAM 11625<sup>5</sup> que establecen las condiciones y procedimientos para la verificación del riesgo de condensación de vapor de agua, superficial e intersticial, en muros, techos y otros elementos exteriores de los edificios, dicha Norma llega a establecer algunos requerimientos para la aplicación del aislamiento térmico en la envolvente. La verificación para el análisis requiere datos de temperatura, humedad y presión de vapor saturado así como características de la envolvente, espesores y propiedades de conductividad térmica. Alías Herminia Jacobo Guillermo y Pilar de Salazar<sup>6</sup> presentan un método de cálculo de la transmitancia térmica y de condensaciones según normas IRAM actuales en el que determinan el grado de exigencia en cuanto al cumplimiento de los requisitos mínimos de la materiales para la transmitancia térmica y la permeabilidad lo que asegura el mínimo aceptable de confort. Para la verificación del riesgo intersticial y superficial el campo de aplicación de la norma se limita a los “pañes centrales que conforman la envolvente del edificio” y hacen notar que la norma IRAM 11625/96 no contempla en sus cálculos el factor de consumo energético.

---

<sup>4</sup> CZOAJKOWSKI 1993, *Ibidem*

<sup>5</sup> Norma Técnica del Instituto de Normalización y Certificación. IRAM es el representante de la Argentina en la International Organization for Standardization (ISO), en la comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT) y en la organización MERCOSUR de normalización.

<sup>6</sup> En pag. [http://www1/unne.ed.ar/cyt/2002/07-tecnologicas](http://www1.unne.ed.ar/cyt/2002/07-tecnologicas), consultado 08/09





Otro instrumento normativo sobre acondicionamiento higrotérmico es el Código Técnico de la Edificación (CTE)<sup>7</sup> que en su Documento Básico HE Ahorro de Energía tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permitan cumplir las exigencias de ahorro de energía, expresadas en el RITE<sup>8</sup>, en la sección HE-1 *Limitación de la demanda energética* aborda el ámbito sobre la “comprobación de la limitación de humedades superficiales e intersticiales...”<sup>9</sup> y que pretende verificar que las condensaciones intersticiales en los cerramientos de la envolvente térmica no produzcan merma significativa en sus prestaciones térmicas o supongan un riesgo de degradación o pérdida de su vida útil. Se realiza mediante un programa informático llamado LIDER<sup>10</sup>. Para llevar a cabo los procedimientos de verificación se consideran zonas climáticas y clases de higrometría<sup>11</sup> propios de cada elemento de la envolvente, las condensaciones se dividen a su vez en superficiales e intersticiales. Para las condensaciones superficiales de particiones interiores “la humedad relativa media mensual máxima permitida es de 80%”<sup>12</sup>. Para las condensaciones intersticiales considera que “la máxima condensación acumulada en cada período anual no será superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo período”<sup>13</sup>.

En México la normatividad correspondiente a humedad y condensación está mencionada de manera general en el reglamento de construcciones en el capítulo III sobre higiene, servicios y acondicionamiento ambiental, con base en la NOM-018-1997 sobre aislantes térmicos para edificaciones características

<sup>7</sup> Código Técnico de la Edificación CTE, Ministerio de Vivienda, Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda & Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. CSCI, CTE, 2006, España.

<sup>8</sup> RITE, Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificaciones. (RD 1027/2007), es el reglamento español, que regula cómo se diseñan, instalan y mantienen las instalaciones de calefacción, climatización y solares.

<sup>9</sup> En CTE, artículo 15. Exigencias básicas de ahorro de energía (HE), sección HS Protección frente a la humedad, apartado 1.1 Ámbito de aplicación.

<sup>10</sup> LIDER: Limitación de Demanda Energética, en <http://codigotecnico.org/index>, última consulta 17/09/09.

<sup>11</sup> El CTE considera la higrometría como la cantidad de humedad que caracteriza a un espacio y para ello establece 3 clases de higrometría. Confr.: CTE, artículo 15. Exigencias básicas de ahorro de energía (HE), apartado 3. Cálculo y dimensionado, 3.1.2. Clasificación de los espacios.

<sup>12</sup> En CTE: artículo 15. Exigencias básicas de ahorro de energía (HE), apartado 2.2 Condensaciones

<sup>13</sup> *Ibidem*



que tiene por objeto establecer los métodos de prueba para evaluar la conductividad o resistencia térmica, densidad aparente, permeabilidad al vapor de agua y adsorción de la humedad, que se indiquen en los materiales que se comercialicen en el país con propiedades aislantes térmicos, para su uso en la construcción; como puede verse esta es una norma para los procesos de calidad de materiales pero no para los procesos de fabrica de la construcción misma.

Al respecto en mayo de 2009 se declaró oficial el Código de Edificación de Vivienda (CEV) para la construcción en México, dicho código aún no está vigente para todos los estados de la República. Entre las Normas en que se basa se encuentra la Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCE-2009, *Industria de la Construcción –Aislamiento térmico- valor “R” para las Envolventes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana. Especificaciones y Verificación*. Como su nombre lo indica es aplicable por zona climática y para viviendas nuevas o ampliaciones. Tiene por objeto disminuir la demanda energética que se utiliza para acondicionar térmicamente la edificación. La Norma concuerda con la norma internacional ISO 10456 *“Building materials and products-hygrothermal properties. Tabulated design values and procedures for determining declares and design thermal values”* cap. 5 y 8<sup>14</sup>.

La ISO es una organización no gubernamental que forma un puente entre los sectores públicos y privados, la red está conformada por institutos nacionales de estandarización de 162 países, con una secretaría central en Ginebra, Suiza, la ISO permite alcanzar soluciones en consenso que cubren las necesidades más amplias de la sociedad.

Las normas internacionales ISO que hacen mención a la humedad, condensación o comportamiento higrotérmico en la edificación son:

---

<sup>14</sup> En <http://dof.gob.mx>, 18/08/2008



La ISO 10456:2007<sup>15</sup> especifica los métodos de cálculo del diseño para la determinación de los valores termal de los materiales de construcción y los productos termalmente homogéneos. La ISO 10456:2007 proporciona los coeficientes de conversión para la temperatura y para la humedad, estos coeficientes son válidos para las temperaturas entre 0°C y 30°C, también proporciona datos de diseño de forma tabular.

ISO 15927\_3:2009<sup>16</sup>, sobre funcionamiento higrotérmico de edificios - cálculo y presentación de datos climáticos – En la parte 3 presenta el cálculo del índice de conducción de la humedad por lluvia en las superficies verticales con datos para cada hora del viento y de lluvia. La norma proporciona procedimientos para estimar las afectaciones en paramentos verticales por lluvia por cada orientación para lo que considera la topografía, los materiales y el tipo de edificio. Define los métodos para calcular el índice medio anual que influencia el contenido de agua de una superficie absorbente y el índice de probabilidad de penetración de la lluvia a través de la albañilería y de empalmes en otros sistemas de la albañilería.

La investigación sobre convección y condensación corresponde al campo de la Ingeniería aplicándose a la mecánica y la física, sin embargo, los procesos y resultados también pueden ser aplicados a campos más diversos como la arquitectura.

Algunos investigadores en arquitectura han trabajado sobre la convección, como es el caso de, Manuel Rodríguez Viqueira<sup>17</sup> (1999) con su trabajo “El viento como concepto de diseño en la arquitectura bioclimática contemporánea”, Rodríguez Viqueira y Víctor Freixanet<sup>18</sup> (2002) con su estudio de “Ventilación natural en arquitectura”, de ellos mismos (2003) “Cálculos básicos para estimar la ventilación cruzada en edificaciones”<sup>19</sup>. Ellos consideran la ventilación como elemento de

<sup>15</sup> En [http://iso.org/iso/iso\\_catologue](http://iso.org/iso/iso_catologue) , consultado 23/09/2009.

<sup>16</sup> En [http://iso.org/iso/iso\\_catologue](http://iso.org/iso/iso_catologue) , consultado 23/09/2009.

<sup>17</sup> RODRÍGUEZ Viqueira Manuel, *EL VIENTO COMO CONCEPTO DE DISEÑO EN LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA CONTEMPORÁNEA* en memorias de la Semana Nacional de Energía solar, ANES, México 1999

<sup>18</sup> RODRÍGUEZ V. y Freixanet V, *VENTILACIÓN NATURAL EN ARQUITECTURA*, en Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México 2002

<sup>19</sup> RODRÍGUEZ V. y Freixanet V, *CÁLCULOS BÁSICOS PARA ESTIMAR LA VENTILACIÓN CRUZADA EN EDIFICACIONES*, en memorias de la Semana Nacional de Energía solar, ANES, México 2003



diseño en la edificación y la ventilación de cavidades de la envolvente como una estrategia para minimizar los efectos adversos del medioambiente sobre la edificación ya que funcionan como elementos amortiguadores o exclusas térmicas.

Aunque bajo el concepto propio de ventilación y con tecnologías poco rentables para casa-habitación, algunos edificios ya utilizan cavidades ventiladas sobre todo aquellos que son muy altos y pretenden una ventilación natural como el edificio del Centro de Promoción de Negocios en Duisburgo, de Norman Foster que en la fachada plana exterior tiene sensores conectados a una computadora para controlar unas persianas de aluminio perforado, detrás de éstos hay un doble vidrio altamente aislado con relleno de argón.

La Sede del Banco de Comercio de Frankfurt en donde la ventilación se logra de manera controlada por medio de una doble fachada con control solar y aberturas diseñadas expresamente para controlar la velocidad y entrada del viento, Esto se consigue por medio de distintas rejillas en la manguetería de ambos acristalamientos, de tal forma que el espacio intermedio se convierte en una «cámara plena» que surte de aire a los espacios interiores.

El edificio de la sede DEBIS en Potsdamer Platz, Berlín de Renzo Piano en donde sus 21 niveles son ventilados totalmente de manera natural a través de una doble fachada acristalada con cavidad de aire, y dispositivos de control solar integrados y automatizados.



## I.2 Procesos de ventilación y deshumidificación

Sobre temas imbricados en los procesos de ventilación y deshumidificación, existen estudios doctorales y de maestría más específicos y que han dotado a la investigación de elementos para el desarrollo de la tesis planteada siendo estos:

- Mejía Domínguez David<sup>20</sup> (2002), “Diseño y evaluación del control solar en arquitectura”. El objetivo de la investigación es determinar a partir de gráficas solares y máscaras de sombras la eficiencia de parteluces y aleros. El estudio es un método gráfico y se basa en los métodos de Gómez Azpeitia y Morillón una vez que han sido establecidos los requerimientos de climatización que pudieran ser resueltos con dispositivos pasivos de control de asoleamiento.
- Rivas Ramírez Daniel<sup>21</sup> (2000), “Modelo del Cálculo Térmico para el ahorro de Energía en edificación”. El objetivo de la tesis es el diseñar un modelo que permita calcular el comportamiento térmico para una edificación de tipo dinámico que calcule las condiciones higrotérmicas, para tal investigación se utilizó un piranómetro de radiación global conectado a un adquisidor de datos, un termohidrógrafo, termómetros de mercurio de bulbo seco y anemómetros. El modelo es un método de suma algebraica de las ganancias y pérdidas de calor y se basa en los modelos de cálculo térmico de Sámano, Morales y Vázquez, y considera: calor producido por los ocupantes, calor producido por iluminación y equipos, ganancia o pérdida por conducción, calor reducido por radiación solar directa, calor producido por infiltración, calor producido por ventilación.

<sup>20</sup> MEJÍA Domínguez David, *DISEÑO Y AVALUACION DEL CONTRO SOLAR EN ARQUITECTURA*, Tesis doctoral, Programa de posgrado Arquitectura, UNAM, México, 2002

<sup>21</sup> RIVAS Ramírez Daniel, *MODELO DEL CÁLCULO TÉRMICO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EDIFICACIÓN*, Tesis doctoral, Programa de posgrado Arquitectura, UNAM, México, 2000



- Manuel de Anda Y Flores<sup>22</sup>, presentan un modelo para el cálculo de calor que es necesario extraer de la edificación con el uso de sistemas de climatización convencionales. Considera el calor generado por los usuarios, las temperaturas máximas promedio típicas, el calor generado por equipos eléctricos y el calor que produce la conducción en muros, techos y puertas, el calor por radiación solar directa, calor por ventilación, obteniendo la carga total de calor.
- Reza Lagunas Manuel Guillermo<sup>23</sup>, presenta un “Programa para el cálculo térmico de una edificación Q”. Es un programa que se desarrolla a partir de la metodología para el diseño térmico en edificios del Dr. Diego A. Samano, José Diego Morales y Bernardo Vázquez.
- David Morillón Gálvez<sup>24</sup> realiza un estudio de la convección natural acoplada a placas planas almacenadoras de calor, en dicho estudio analiza el comportamiento en techos y muros con cavidades ventiladas, bajo condiciones de frontera cambiantes para realizar el diseño de sistemas pasivos de descarga de calor “muro escudo”. El estudio es de tipo analítico y experimental en el que utilizó 9 termopares a un transductor digital a lo largo del canal, termohidrógrafos que se colocaron en la entrada y salida de aire para conocer la humedad del flujo, así como en la parte exterior para conocer la humedad del ambiente, posteriormente su usó un sistema de adquisición de datos de alta resolución con 16 termopares. Para la medición del flujo del aire se usó un anemómetro de hilo caliente.

<sup>22</sup> MANUEL de Anda y Flores, *MODELO PARA EL CÁLCULO DE EXTRACCIÓN DE CALOR PARA EL USO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN CONVENCIONALES*, Tesis doctoral, Programa de Doctorado en Ingeniería, UNAM, México, 1999

<sup>23</sup> REZA Lagunas Manuel Guillermo, *PROGRAMA PARA EL CÁLCULO TÉRMICO DE UNA EDIFICACIÓN Q*, tesis doctoral, Programa de posgrado Arquitectura, UNAM, México, 1998

<sup>24</sup> MORILLÓN Galvez David, *ESTUDIO DE LA CONVECCIÓN NATURAL ACOPLADA A UN MURO ALMACENADOR DE CALOR EN FLUJO TRANSITORIO*, Tesis doctoral, Programa de posgrado en Ingeniería, UNAM, México 1998



### Referentes generales

Algunos documentos en que se menciona la condensación corresponden al tópico de aislamiento térmico de cerramientos en edificación, y aunque sin ser tratada de manera específica son mencionados:

Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM); que propone el método de cálculo de transmitancia térmica y condensaciones.

“Condensación de humedad en la vivienda”, estudio realizado para el Instituto Nacional de Tecnología Industrial en Buenos Aires.

Best, Brown Roberto<sup>25</sup>, desarrolló un estudio sobre “Principios y aplicaciones de la energía solar centro de educación continua”.

Díaz, Rodolfo y Morillón<sup>26</sup>, realizaron la investigación denominada “Comportamiento térmico de la vivienda de interés social en diferentes regiones climáticas del país”. Esta es un estudio presentado para la XXIII Semana Nacional de Energía Solar en México.

Esteban Saiz José Luis<sup>27</sup> presenta la investigación “Aislamiento térmico de cerramientos”.

Galindo Estrada Ignacio<sup>28</sup>, desarrolla el estudio sobre “Irradiación solar global en la República Mexicana”, con el que se pueden obtener los valores horarios medios.

---

<sup>25</sup> BEST, Brown Roberto: *PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR*, Centro de Educación Continua, División de Estudios Superiores, Facultad de Ingeniería UNAM, 1979.

<sup>26</sup> DÍAZ Rodolfo; Morillón David: *COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN DIFERENTES REGIONES CLIMÁTICAS DEL PAÍS*, Memorias de la XXIII Semana Nacional de Energía Solar, ANES, Morelia, Mich., 1999.

<sup>27</sup> ESTEBAN, Saiz José Luis:  *AISLAMIENTO TÉRMICO DE CERRAMIENTOS*, Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar, ANES, 1993.

<sup>28</sup> GALINDO, Estrada Ignacio: *IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL EN LA REPÚBLICA MEXICANA*, VALORES HORARIOS MEDIOS, en Memorias de la Asociación Nacional de Energía Solar, México 1996.



Koenisberger Ingersoll y Mayhew Szokolay<sup>29</sup>, presentan “Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales”.

Lotersztain I.<sup>30</sup>, “Condensación de humedad en la vivienda, estudio realizado para Argentina”, y del que puede determinarse el punto de rocío.

Merkin J.H.<sup>31</sup>,”Convección natural en flujo de capa límite en una superficie vertical”.

Rojas José A.<sup>32</sup>, “Obtención de propiedades ópticas y térmicas de algunos materiales de construcción”. Tesina de la especialización en heliodiseño.

Samano Diego, Morillón David y Muñiz Ramón<sup>33</sup>. Presentan “La radiación solar y el efecto de la inercia térmica de los sistemas la climatización de espacios”.

---

<sup>29</sup> KOENISBERGER, Ingersoll, Mayhew, Szokolay:, *VIVIENDAS Y EDIFICIOS EN ZONAS CÁLIDAS Y TRÓPICALES*, Ed. Paraninfo, Madrid, 1977.

<sup>30</sup> LOTERSZTAIN, I., *CONDENSACION DE HUMEDAD EN LA VIVIENDA INTI*. Buenos Aires, 1970, en <http://arquinstal02.co.cc/publicaciones/>

<sup>31</sup> MERKIN, J.H et Chauchany M.A., : *CONVECCIÓN NATURAL EN FLUJO DE CAPA LÍMITE EN UNA SUPERFICIE VERTICAL*, titulo original Free convection boundary layers on vertical surfaces driven by an exothermic reaction. *Quart. J. Mechanics and Applied Math*, 47, 405-428,1994

<sup>32</sup> ROJAS, José A: *OBTENCIÓN DE PROPIEDAD ÓPTICAS Y TÉRMICAS DE ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. Tesina especialización en heliodiseño, UNAM, 1992

<sup>33</sup> SAMANO, Diego; Morillón, David; Muñiz, Ramón: *LA RADIACIÓN SOLAR Y EL EFECTO DE LA INERCIA TÉRMICA DE LOS SISTEMAS LA CLIMATIZACIÓN DE ESPACIOS*, Memorias de la XVII Semana Nacional de Energía Solar, ANES Colima, Col., 1993.





## CAPITULO II

# **CONCEPTOS TEÓRICOS IMBRICADOS EN LA HUMEDAD EN LA EDIFICACIÓN**



## CONTENIDO

### II.1 Conceptos generales

El edificio como sistema dinámico.....	25
Sistemas de enfriamiento pasivo.....	27
Efecto Chimenea.....	30
Muro Trombe.....	33
Efecto de Venturi.....	35

### II.2 Mecanismos de enfriamiento imbricados en el sistema propuesto

Convección.....	36
Conducción.....	38
Radiación.....	40
Evaporación.....	41
Efectos de ventilación.....	42
Ventilación y cargas térmicas.....	43
Mecanismos de funcionamiento.....	44
Análisis de los efectos de la ventilación natural en las edificaciones.....	44

### II.3 Humedad en la edificación

Condensación y humedad.....	50
Condensación.....	51
Condensación intersticial.....	52

### II.4 Procesos psicrométricos

Balance energético del edificio.....	52
Carta psicrométrica.....	52



## II.1 Conceptos generales

### El edificio como sistema dinámico

Son diversos los campos desde los que se definen los sistemas dinámicos, Kuznetsov (1995) lo define como “la representación matemática de un proceso determinístico. Si se conoce la ley que gobierna su evolución y su estado inicial, se puede predecir cualquier estado futuro del sistema. Todos los posibles estados del sistema se pueden representar por puntos en algún conjunto  $X$  llamado espacio de estados... la evolución del sistema dinámico supone un cambio de estado en un tiempo”<sup>1</sup>.

Para fines de este estudio, el edificio o construcción a evaluar es considerado como un sistema, en donde se define como “edificio” al conjunto de partes independientes pero interactuantes que forman un sistema unitario y complejo, tanto objetual como funcional. Las partes del sistema, básicamente son funciones que se clasifican en entradas, procesos y salidas<sup>2</sup>, y comprenden la envolvente y su contexto inmediato.

Las entradas son los recursos materiales, en este caso, va más allá de los materiales refiriéndose a la composición de la edificación que define la forma en que el sistema opera. Estas formas resultan de la manera en que el sistema se relaciona con su entorno de acuerdo a su composición.

El proceso es la transformación de una entrada en salida, en este caso el edificio tangible es el procesador. Generalmente los procesos pueden organizarse para inducir a qué entrada corresponde una salida aunque no siempre son asequibles todos los procesos, sin embargo aun cuando el proceso sea muy complejo puede considerarse que con ciertos estímulos las variables funcionarán de cierta forma prevista.

<sup>1</sup> <http://www.docentes.unal.edu.co/atovarp/docs/IGB/01-Sistemas%20din%E1micos.pdf>, consultado 21/11/08

<sup>2</sup> En <http://www.urjc.es/departam/IndDepartam.html>, consultado 05/05/2007



Las salidas resultan de procesar las entradas, en este caso las salidas adoptan la forma de calidad y características del ambiente habitable. Las relaciones que se establecen en el sistema de estudio son de carácter sinérgico, en donde las relaciones son los enlaces que vinculan entre sí a los objetos o subsistemas que componen a un sistema complejo. Los atributos definidores del sistema, es decir aquellos que designan a la entidad como tal, corresponden a los muros, el piso y la cubierta, en tanto que los atributos concomitantes corresponden a la orientación, altura, espesor los muros y tipo de material constructivo.

El sistema siempre está rodeado del contexto, que a su vez decide en parte las entradas, los procesos y las salidas del mismo, al mismo tiempo que el sistema influye en el contexto. En este caso el contexto a estudiar o límite de interés corresponde a las condiciones de medio ambiente y terreno inmediato más próximos. Aunque en éste sistema limitado existen infinitas relaciones, se consideran para el estudio aquellas que probabilísticamente proporcionan mejores características para la predicción científica.

El sistema se define cómo dinámico una vez que ha sido limitado y se acepta que tiene cambios de estado en el tiempo. Dentro del mismo sistema complejo, se encuentran subsistemas que forman parte de un todo más complejo.

Así el sistema y los subsistemas tienen procesos internos que se desarrollan en interacción y reacción a los diferentes elementos que se registran y que se conocen como variables, las cuales se comportan diferencialmente de acuerdo al proceso de cada sistema y subsistema según el momento y circunstancias que los rodean.

El comportamiento de una variable puede determinarse en un parámetro, que es cuando la variable responde dentro de ciertos rangos a circunstancias específicas, y que en este caso se pretenden encontrar esos parámetros y definir las circunstancias para lograr una adecuada inferencia estadística.



El sistema se concibe como integrado, puesto que un cambio producido en cualquiera de sus subsistemas produce cambios en los demás, de la misma manera el sistema es permeable, por verse influenciados por el medio circundante, las fases de entrada proceso y salida no se interrumpen. Manteniéndose o tendiendo al equilibrio con el medio.

Desde el punto de vista de la termodinámica el edificio es un sistema cerrado ya que para el estudio sólo se considera el intercambio de energía con el medio ambiente inmediato, es decir, el edificio está en continuo contacto con su medio y se ve influenciado por este.

### **Sistemas de enfriamiento pasivo**

Los estudios de enfriamiento pasivo se encuentran en el marco del desarrollo de estrategias y técnicas bajo el principio de conservación de energía y respeto al entorno. Para Eduardo González<sup>3</sup> los sistemas de enfriamiento pasivo comprenden el estudio de diversas técnicas de enfriamiento que basan su funcionamiento en la transferencia de calor desde el interior de la edificación o elemento constructivo a un “pozo térmico”. Los pozos térmicos, dice E. González, son el suelo, el aire o el agua y se utilizan dependiendo de las condiciones del lugar y su disponibilidad, por lo que en cada región hay diferentes capacidades y potenciales de enfriamiento.

La expresión “pasivo” se usa para definir el principio de captación, almacenamiento y distribución capaz de funcionar solos, sin aportaciones de energía exterior y que implica unas técnicas sencillas, sin equipos<sup>4</sup>. Morillón (2002) define el término “pasivo” como aquellas edificaciones capaces de almacenar, captar y distribuir energía del medio ambiente, sin

---

<sup>3</sup> GONZÁLEZ E., *SOBRE EL ENFRIAMIENTO PASIVO EN EDIFICACIONES: PROYECTOS EN DESARROLLO EN EL IFAD-LUZ, IFAD*, Universidad de Zulia, Venezuela, .2002

<sup>4</sup> MAZRIA E., *EL LIBRO DE LA ENERGÍA SOLAR PASIVA, TECNOLOGÍA Y ARQUITECTURA*, GG, México, 1979



requerir de equipos extras o energía proveniente de fuentes fósiles<sup>5</sup>. El uso de estas técnicas está condicionado a la disponibilidad de recursos. Tiene además la característica de poder formar parte de la estructura misma de la edificación.

Los sistemas solares pasivos actúan por principios básicos de física como son la conducción, la radiación y la convección. Por la forma en que hacen uso de la los elementos del medio y en que interactúan con otras fuentes de energía han sido clasificadas en sistemas pasivos, híbridos, activos.

Los sistemas pueden clasificarse también por sus necesidades de climatización como calentamiento, enfriamiento, humidificación, deshumidificación, protección solar, captación solar (Morillón, 2002), y algunos de ellos consisten en:

- Ganancia directa, que captan la energía del sol a través de superficies vidriadas.
- Muro Trombe, que es un muro de acumulación no ventilado y que actúa como cuerpo negro.
- Muro de acumulación ventilado, que actúa como cuerpo negro pero permite el intercambio de calor con el exterior a través de orificios.
- De invernadero adosado, que capta el calor durante el día y evita su pérdida en a noche.
- Acumulación de calor en techo, como sería el techo estanque.
- Captación solar y acumulación de calor, el sistema permite almacenar el calor y distribuirlo en periodos en que no hay asoleamiento.
- Uso de la vegetación y el agua para crear microclimas.

En climas cálidos el “refrescamiento pasivo” es un principio que sirve eficazmente, utilizando materiales constructivos de gran masa térmica para conservar la temperatura fresca nocturna y previendo una adecuada ventilación nocturna que arrastra el calor de las superficies internas. El aire resume “tres de

---

<sup>5</sup> MORILLÓN David, *SISTEMAS PASIVOS DE ENFRIAMIENTO*, Notas del curso de Sistemas Pasivos, Guadalajara, México, 2002.



los cuatro parámetros que condicionan la sensación térmica: su propia temperatura, su contenido de vapor de agua y por último su movimiento... su repercusión en la comodidad procede, como es lógico, de la influencia que tienen sobre las pérdidas y ganancias de calor del cuerpo humano”<sup>6</sup> (Serra, 1999:20). En climas calidos es particularmente importante captar y encauzar los vientos frescos. Así al estar más frescos los muros y techos tomarán calor corporal dando sensación de frescura.

El precepto básico de los sistemas pasivos se apoya en los principios de la termodinámica que dicta que el calor se transmite del cuerpo más caliente al más frío, y que en este proceso se tiende al equilibrio, sin haber una creación o destrucción de energía, sino una transformación<sup>7</sup>.

Para que este ocurra las condiciones determinantes son: La diferencia de temperaturas entre el aire del ambiente y la fuente de enfriamiento, la intensidad de flujo térmico disponible en la fuente de enfriamiento, la posibilidad de evacuar de la fuente de enfriamiento el calor que le es transferido<sup>8</sup>.

De tal forma el proceso implica la existencia de una diferencia de temperatura entre los cuerpos o partes del sistema para que haya las condiciones para una descarga de energía de una parte a otra del sistema. Ello correspondería a un sumidero de calor o deposito ambiental, pudiendo ser el cielo, el suelo o la atmosfera (Morillón, 2002).

El cielo como sumidero de calor, “tiene le potencial de enfriar el sistema por debajo de la temperatura ambiente” (Morillón 2002). Lo que en un clima cálido húmedo es óptimo si el aire que se descarga al ambiente es más caliente que el

<sup>6</sup> SERRA Rafael, *ARQUITECTURA Y CLIMAS*, GG, Barcelona, 1999

<sup>7</sup> KENNETH Wark et Donald E. Richard, *TERMODINÁMICA*, 6a Edición, Mc Graw Hill, Madrid, España, 2006

<sup>8</sup> ERNESTO Lorenzo Romeo: *CLIMATIZACION PASIVA DE EDIFICACIONES MEDIANTE CONDUCTOS ENTERRADOS*. Potencialidades de aplicación en Venezuela, 6º Congreso Internacional de Construcción Sostenible, Universidad Central de Venezuela, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Venezuela, 2007



aire circunvecino, el cual es influenciado por las ganancias de calor convectivas y radiativas del entorno.

El recurso de la ventilación en el clima cálido húmedo, es un sistema muy eficaz y que requiere se observe la captación en la zona de alta presión y la salida en la zona de baja presión. El reto es deshumidificar el aire en el proceso de enfriamiento, lo que representa gran parte del consumo de energía en el proceso total. Mover el aire y disminuir la energía radiante de las superficies inmediatas, pueden ayudar en el proceso de deshumidificación, García Chávez<sup>9</sup> (1996:95) resume que “es posible propiciar la ventilación natural en edificaciones y tener aire puro y también coadyuvar al control de las cargas térmicas internas,...la ventilación natural es una estrategia de diseño muy importante para reducir las cargas de enfriamiento en los edificios, para controlar el contenido de humedad en el aire y para permitir la necesaria renovación de aire intramuros...”

### **Efecto Chimenea**

El efecto chimenea es la tendencia del aire a elevarse cuando se calienta debido a la disminución de su densidad<sup>10</sup>.

Este fenómeno térmico se usa en construcción para extraer calor del interior. Esta impulsión térmica logra inducir una depresión susceptible de aspirar aire más fresco a través de las aberturas de la parte inferior.

Un dispositivo basado tal principio, es la chimenea solar o chimenea termal que mejora la ventilación haciendo uso de la convección del aire calentado por energía solar. La chimenea solar básicamente se conforma de un eje vertical por donde fluye el viento. Para su mejor trabajo, se pinta de negro, lo que aumenta la captación de radiación calentado el aire interior y creando una corriente ascendente en el tiro. Este dispositivo encuentra mayor utilidad en las regiones

---

<sup>9</sup> GARCÍA Chávez et Allard Francis, *OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE LA VENTILACIÓN NATURAL EN LAS EDIFICACIONES*, en Memorias Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México, 1996

<sup>10</sup> En [www.giordano.fr](http://www.giordano.fr), consultado 21/11/2008



cálidas con poca presencia de viento. Para un adecuado funcionamiento de la chimenea debe observarse la ubicación del elemento que actúa como colector solar, las propiedades térmicas y constructivas, la ubicación del eje principal de ventilación, así como los orificios de entrada y salida, ya que éstos determinan en gran medida el rendimiento del sistema.

Actualmente, el uso de las chimeneas solares se ha extendido, tanto para ventilación como para la generación de energía a gran escala, un ejemplo de su utilización es la chimenea solar de Tanga School en Falkenberg, Sweden (FIG.01): “El método principal de ventilación para el edificio B de la escuela, es mediante ventilación pasiva por succión del aire. Cuando ésta succión no produce suficiente diferencia de presión de aire, unos ventiladores asistidos permiten mantenerla a un determinado nivel. En la escuela Tanga, el aire exterior se distribuye a las salas por diferentes entradas de aire, situadas debajo de las ventanas de los cerramientos exteriores, hacia un conducto del cual es distribuido hacia la sala. El aire exterior es precalentado por convectores situados debajo de los conductos. Se debería aportar así, una ventilación mixta en la sala. El aire extraído es evacuado por terminales de aire, situados debajo del techo al lado opuesto de la sala, y dentro de conductos verticales. Hay instalados unos humedecedores locales, dentro de las entradas de aire y en el largo conducto de 6m de cada sala, para permitir un control individualizado de la corriente de aire. Para evitar un movimiento inverso del aire por el conducto, todas las aulas tienen sus entradas de aire en posición contraria a la dirección de los vientos dominantes. El aire exterior es distribuido a las salas por rejillas de aire debajo de las ventanas”<sup>11</sup>.

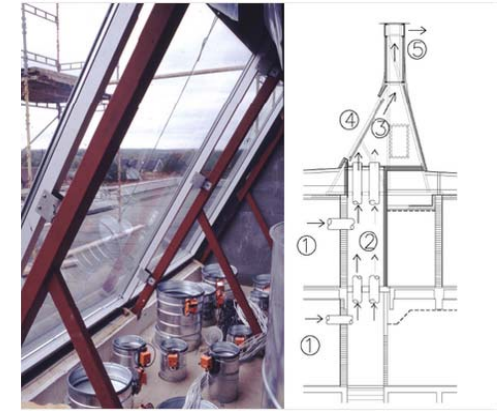


FIGURA 01: INTERIOR DE UNA DE LAS CHIMENEAS SOLARES. Detrás del cristal, hay láminas de acero corrugado que actúan como absorbedores (esto no se muestra en el dibujo). [http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/data/p10/images/image\\_s1.png](http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/data/p10/images/image_s1.png)



FIGURA 02: CHIMENEA SOLAR. Fuente del fresno, ciudad Real, <http://www.almendron.com/blog/1989/la-chimenea-ecologica/>

<sup>11</sup> [http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/data/p10/images/image\\_s1.png](http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/data/p10/images/image_s1.png), consultado 14/02/2008



En el esquema puede verse:

1. El aire fresco entra a las aulas a través de las paredes y es precalentado detrás de los radiadores. El aire es evacuado desde las aulas hacia los principales huecos.
2. El aire asciende por los huecos de evacuación mediante el efecto succión.
3. El aire entra a la chimenea solar.
4. El aire es calentado en los colectores solares, lo cual ayuda a incrementar el efecto succión.
5. El aire es evacuado por el extremo superior de las chimeneas solares.

Otro ejemplo de chimenea solar es el de Fuente del fresno, ciudad Real (FIG.02): “En la chimenea solar la radiación del sol calienta el aire que se encuentra debajo de una gran cubierta de cristal abierta en su contorno. Esta cubierta y el terreno forman un gran colector de aire caliente. En el centro de la cubierta se sitúa una gran chimenea con amplias entradas de aire en su base. La junta entre la chimenea y la cubierta acristalada se estanca, de esta forma el aire caliente, que es más ligero que el frío, asciende por la chimenea. La succión provoca que el aire caliente bajo la cubierta de cristal siga entrando a la chimenea, y el aire frío exterior entre por el perímetro de la cubierta. La energía contenida en el flujo de aire se transforma en energía mecánica mediante unas turbinas colocadas en la base de la chimenea y en eléctrica mediante generadores convencionales. Una sola chimenea con una superficie de colector de 7.0 m de diámetro, construida y explotada en una zona con una radiación anual de 2.300 kWh/m<sup>2</sup>, puede producir entre 700 y 800 GWh al año”<sup>12</sup>.

En una escala menor, la chimenea solar, denominada también cámara solar, calienta una masa de aire con el aprovechamiento de la radiación solar, disminuyendo la densidad del aire y succionándolo hacia el exterior actuando como un tiro natural (FIG.03). Una ventaja de esta chimenea es que puede

SISTEMA DE VENTILACIÓN 1  
RECORRIDO DE FLUJO DE AIRE

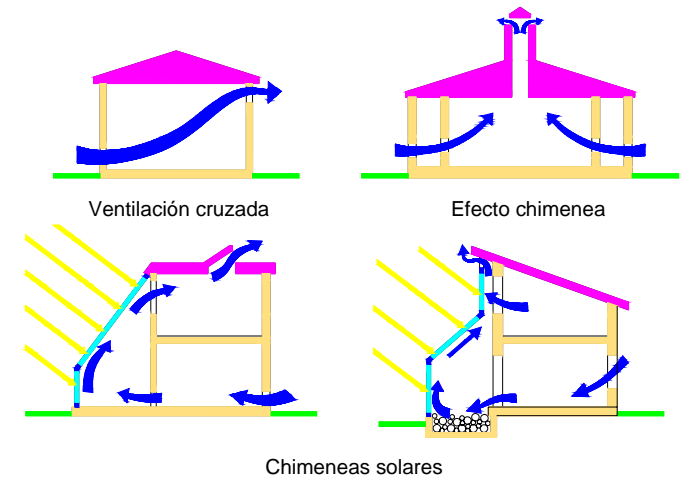


FIGURA 03: VENTILACION EN CHIMENEA SOLAR,  
<http://bioconstruccionssomeso.blogspot.com/>

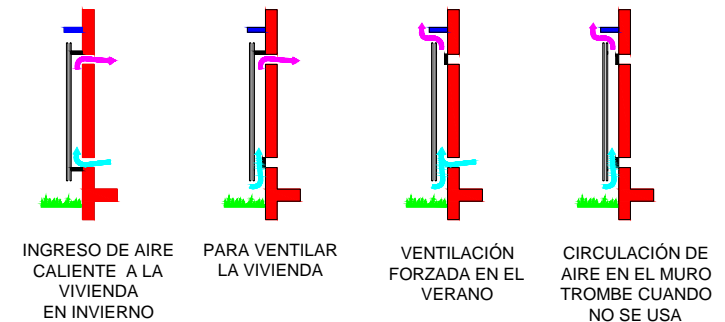


FIGURA 04. USOS MURO TROMBE,  
<http://200.10.250.205/doc/seminario-polu/Sencico.pdf>

<sup>12</sup> <http://www.almendron.com/blog/1989/la-chimenea-ecologica/> consultado 03/05/2007

orientarse al este o al oeste según la hora en que se desee lograr el efecto de succión<sup>13</sup>.

### Muro Trombe

Es una pared que se orienta al sol con el fin de captar calor debido a su masa térmica. Consiste en una pared, una placa de vidrio paralela y separada de la pared y ventilaciones, lo que conforma un colector solar térmico. Funciona por diferencias de densidad en el aire generando pequeñas corrientes que permiten el calentamiento de las edificaciones.

Una vez que los rayos del sol atraviesan el vidrio, se calienta la pared y el calor es almacenado por la masa térmica. En la noche, el calor tiende a emitirse hacia el exterior y devuelto a la edificación al encontrarse con la placa de vidrio. “Es un colector de energía solar compuesto de una superficie vidriada o de plástico transparente, una masa de aire y una masa térmica. El sol incide en la superficie vidriada produciendo el calentamiento del aire de la cámara. La masa de tierra ubicada debajo de la cámara de aire impide el enfriamiento y fuga de aire caliente. El aire calentado en la cámara circula por convección y se introduce en la vivienda por un sistema de tuberías. El calor se distribuye en la vivienda por radiación”<sup>14</sup>.

Las ventilaciones del muro Trombe (FIG. 04), son orificios en la parte superior e inferior, por donde entra el aire mas frío, circule por la cámara y salga por los orificios superiores mas caliente bajo el fenómeno de convección. Aunque se utiliza para climas fríos, el muro Trombe tiene la ventaja de que se le pueden incorporar ventilas en la parte superior e inferior del vidriado exterior para controlar un sobrecalentamiento del muro.



FIGURA 05. MURO TROMBE EN UN CHALET,  
<http://paratodxs.blogspot.com/>



FIGURA 06. MURO TROMBE EN UNA CABAÑA,  
<http://paratodxs.blogspot.com/>

<sup>13</sup> <http://bioconstruccionsomeso.blogspot.com/> consultado 18/02/2008

<sup>14</sup> KUROIWA Carmen H., *MURO TROMBE*, Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú, <http://200.10.250.205/doc/seminario-polu/Sencico.pdf>, consultado 29/05/2009



El muro Trombe puede optimizarse de acuerdo a las necesidades específicas si se le colocan ventilas para extraer el aire caliente lo que permite la extracción y ventilación natural en el interior de la edificación. El uso del muro Trombe se ha extendido a localidades donde la energía eléctrica no llega o su costo la hace inaccesible prácticamente (FIGS. 05 y 06). Otros arreglos que se hacen al muro en ventiladores eléctricos que sensibles a la temperatura mejorando el flujo de aire caliente,

colocar dispositivos de control para los orificios de entrada y salida de aire, anexar al muro Trombe accesorios que puedan aprovechar la fuente de calor para calentar el agua. Las superficies selectivas también son una manera de controlar la absorción de radiación solar por masa térmica.

El muro Trombe puede tener variantes que le permiten una gran utilización, por ejemplo:

- Ventanillas o banderolas para permitir salir el aire caliente hacia el exterior en verano. Lo que permite que el muro Trombe facilite la extracción y ventilación natural en el interior de la casa refrescándola.
- Ventanas en el muro Trombe, que aunque bajan la eficiencia térmica del sistema permiten llevar iluminación natural al ambiente interior.
- Electroventiladores controlados por termostatos que mejoran el flujo del aire caliente.
- Cortinas fijas o móviles, que permiten reducir las pérdidas de calor nocturnas.
- Cortinas venecianas para sombrear el colector solar durante los meses de verano.



- Cobertura aislante en el vidrio para la noche.
- Tubos, caños o tanques pueden formar parte del muro para aportar calor al sistema de agua caliente.
- Tanques para peces como masa térmica.

### **Efecto de Venturi**

El efecto de Venturi de acuerdo a Streeter L. et al.<sup>15</sup> (1979), consiste en disminuir la presión de la corriente de un fluido al interior de un conducto cerrado, aumentando la velocidad cuando pasa por una zona de menor sección, es decir si el caudal de un fluido es constante y la sección tiende a disminuir, forzosamente la velocidad el fluido aumenta. De acuerdo al teorema de conservación de la energía, si la energía cinética aumenta, la energía determinada por el valor de la presión disminuye forzosamente.

“El Tubo Venturi es un dispositivo longitudinal que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. En esencia, consta de una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. La presión varía en la proximidad de la sección estrecha”<sup>16</sup>.

El efecto Venturi se explica por el teorema de Bernoulli, principio físico que implica la disminución de la presión de un fluido en movimiento cuando aumenta su velocidad. El teorema afirma que la energía total de un sistema de fluidos con flujo uniforme permanece constante a lo largo de la trayectoria del flujo. Puede demostrarse que como consecuencia de ello, el aumento de la velocidad del fluido debe verse compensado por una disminución de su presión.

---

<sup>15</sup> STREETER Victor L. et Wylie E. Benjamin, *MECÁNICA DE LOS FLUIDOS*, 6a ed. Mc Graw Hill, México, 1979

<sup>16</sup> En [www.monografias.com](http://www.monografias.com), consultado 21/11/2008



El teorema de Bernoulli también se emplea en las toberas, donde se acelera el flujo reduciendo el diámetro del tubo, con la consiguiente caída de presión. Asimismo se aplica en los caudalímetros de orificio, también llamados Venturi, que miden la diferencia de presión entre el fluido a baja velocidad que pasa por un tubo de entrada y el fluido a alta velocidad que pasa por un orificio de menor diámetro, con lo que se determina la velocidad de flujo y, por tanto, el caudal<sup>17</sup>.

## II.2 Mecanismos de enfriamiento imbricados en el sistema propuesto

Los mecanismos de enfriamiento son los procesos ligados a los fenómenos naturales por los cuales un sistema se mantiene en equilibrio, estos pueden ser la convección, la conducción y radiación y evaporación. Kenneth W.<sup>18</sup> (2001:53) dice al respecto de los mecanismos de enfriamiento, que “la transferencia de calor es un mecanismo mediante el que se transfiere energía a través de la frontera de un sistema debido a una diferencia de temperatura. La transferencia de calor puede producirse mediante tres mecanismos: conducción, radiación y convección”.

Los edificios también mantienen un intercambio de energía con el medio ambiente siempre en equilibrio, para ello se dan los tres mecanismos de evacuación de calor residual mencionados por Kenneth, la convección, la conducción, la radiación además de la evaporación.

### Convección

En el humano, la convección es la transmisión de calor de la piel al fluido ambiente o a la inversa. El flujo de calor es proporcional a un coeficiente de convección y a la diferencia de temperatura entre el aire y la piel; la rapidez de renovación del aire acelera la convección, entonces se llama forzada. La

<sup>17</sup> [http://es.encarta.msn.com/encyclopedia\\_761560121/Teorema\\_de\\_Bernoulli.html](http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761560121/Teorema_de_Bernoulli.html), consultado 21/11/2008

<sup>18</sup> KENNETH W. et Richards D., *TERMODINÁMICA*, 6a ed., Mc Graw Hill, Madrid, España, 2001.



convección natural se registra cuando existe una diferencia de temperaturas provocando corrientes de aire por diferencia de densidades.

La transferencia de calor por convección, dice Kenneth (2001:54), “es la transferencia de energía entre la superficie de un sólido y un líquido o un gas debido al movimiento del fluido... El flujo de calor por convección desde una superficie a un fluido se calcula utilizando como modelo la *Ley de enfriamiento de Newton*”

$$Q_{conv} = hA (T_s - T_{amb})$$

En donde:

$h$ = coeficiente de transferencia de calor por convección

$A$ = área de la superficie

$T_s$ = temperatura de la superficie

$T_{amb}$ = temperatura del fluido

Indica que “El coeficiente de transferencia de calor depende del fluido y de su movimiento sobre la superficie. No es una propiedad del fluido”. Y agrega que el flujo de calor y el calor transferido  $Q$  se obtiene dependiendo de la naturaleza y datos del problema, de alguno los siguientes modos:

$Q$  Se supondrá o se especificará que sea cero (hipótesis de superficie adiabática)

A  $Q$  Se la asignará un valor basado en los datos del problema

$Q$  Se calculará aplicado el balance general de energía

$Q$  Se calculará utilizando la Ley de enfriamiento de Newton cuando se proporcione suficiente información



La convección expresada por López<sup>19</sup> (1990:70) es la forma de propagación del calor mediante el traslado de las mismas sustancias, por ejemplo, "... cuando el aire en contacto con un cuerpo caliente es calentado a la vez, y luego hecho fluir en forma de viento, ya sea natural o artificialmente".

En el estudio teórico de la convección influyen diversos factores como la forma de la superficie en contacto con el fluido, la posición vertical u horizontal de la superficie, si se tratara de un líquido o un gas, las propiedades específicas del fluido o si el régimen del fluido es laminar o turbulento, haciéndolo muy complicado. De tal forma López (1990:71) presenta la ecuación empírica de convección libre.

$$H = h A \Delta T$$

En donde:

$H$ = calor ganado o perdido por convección por una superficie por unidad de tiempo (corriente calorífica de convección)

$A$ = Área de la superficie

$\Delta T$ = Diferencia de temperatura entre la superficie y la masa principal del fluido

$h$ = coeficiente de convección (existen tablas para cada tipo de aparato o sistema en estudio)

### Conducción

Es la transmisión de calor entre la superficie del cuerpo y los elementos de contacto. Este flujo de calor depende del coeficiente de conductibilidad térmica de estos elementos.

Cuando existen diferencias de densidad en el fluido el sistema presenta flujo dentro de sí, estas diferencias de densidad se pueden generar con diferencias de temperatura para dilatar más unas regiones que otras, a éste proceso se le llama convección por dilatación (López: 1990).

<sup>19</sup> LÓPEZ Campos Carlos E., *FÍSICA DE LA ENERGÍA SOLAR*, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1990.

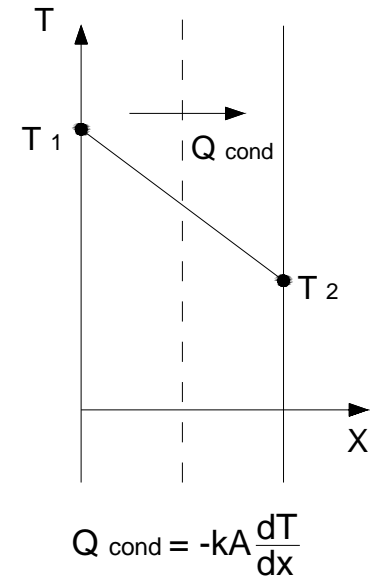


FIGURA 07: TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN UNA PARED UNIDIMENSIONAL





Kenneth<sup>20</sup> (2001:53) la describe como la “transferencia de energía debida a las interacciones entre partículas en el interior de un material. La transferencia de calor por conducción está directamente relacionada con los gradientes de temperatura dentro del cuerpo y está gobernada por la ley de Fourier de conducción del calor” y presenta la ecuación para el flujo de calor en cualquier posición de una pared unidimensional (FIG.07).

$$Q_{cond}=q''_{cond}A=-kA \frac{dT}{dx}$$

En donde

$k$ =conductividad térmica del material

$A$ =sección transversal en la posición  $x$

Y agrega que “En régimen estacionario, cuando el tiempo deja de ser una variable, la distribución de temperatura en una pared plana de conductividad térmica uniforme, será una línea recta... Bajo estas condiciones el gradiente de temperatura puede escribirse en función de las temperaturas de las dos superficies,  $T_1$  y  $T_2$  y del espesor de la pared  $L$ ” expresándolo en la ecuación:

$$Q_{cond}=-kA(T_2-T_1/L)$$

Cabe mencionar, que Kenneth presenta el desarrollo matemático y gráfico de la transferencia de calor por conducción, sin embargo para fines de este estudio vale comprender el fenómeno.

La conducción es definida por López<sup>21</sup> (1990) desde el campo de la física moderna como la propagación del movimiento de las moléculas del cuerpo cuando entran en contacto unas con otras y presenta la ecuación de la cantidad de calor por unidad de tiempo que atraviesa una lámina ( $H$ ), para lo que añade, que  $H$  es

<sup>20</sup> KENNETH W. et Richards D., *TERMODINÁMICA*, 6a ed., Mc Graw Hill, Madrid, España, 2001

<sup>21</sup> LÓPEZ Campos Carlos E., *FÍSICA DE LA ENERGÍA SOLAR*, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1990



directamente proporcional al producto del área de la sección transversal A por la diferencia de temperaturas ( $T_2-T_1$ ) e inversamente proporcional al espesor L. Básicamente la ecuación que presenta es la dada por Kenneth (2001), pero añade la expresión válida para la conducción del calor cuando en cada punto de la placa la temperatura permanece constante, es decir cuando se encuentra en estado estacionario, y se denomina ecuación general de la conducción del calor.

$$H=-KA \frac{dT}{dX}$$

Tal expresión “es útil para placas gruesas cuando la temperatura no varía uniformemente en relación con x o sea  $dT/dX$  no es una constante”<sup>22</sup> (López: 1990:68).

### **Radiación**

Es la transmisión de calor a través del medio ambiente, principalmente por radiación en infrarrojo. Este flujo de calor es proporcional a la constante universal de radiación, al poder de absorción de la envolvente y a la diferencia de temperatura entre la envolvente del edificio y las superficies radiantes.

Para Kenneth (2001:54) la transferencia de calor por radiación, “es la transferencia de energía mediante radiación electromagnética. La energía puede emitirse desde una superficie..., la radiación es el único mecanismo de transferencia de calor que puede producirse en el vacío”. Él presenta la ecuación de Stefan-Boltzmann que describe la radiación térmica emitida por una superficie:

$$q''_{rad}=\epsilon\sigma T_s^4$$

donde:

$\epsilon$ = la *emisividad* de la superficie,

$\sigma$ = la *constante de Stefan-Boltzmann* y

<sup>22</sup> López, 1990, *Ibidem*



$T_s$  = la temperatura absoluta de la superficie.

Kenneth (2001), menciona que “los valores numéricos de la emisividad pueden variar de 0 a 1 dependiendo del tipo de superficie. La constante de *Stefan-Boltzmann* es una constante física igual a

$$5.67 \times 10^{-8} \text{W(m}^2 \cdot \text{K}^4) \text{ ó } [0.1714 \times 10^{-8} \text{Btu/(h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{°R}^4)]$$

Cuando La radiación solar incide sobre la materia, se dan tres efectos absorción, reflexión y transmisión, representados en la ecuación (López: 1990)

$$I = \alpha I + \rho I + \tau I$$

$\alpha I$  = Absortancia, representa el porcentaje de energía incidente absorbida

$\rho I$  = Reflectancia, representa el porcentaje de energía incidente reflejada

$\tau$  = transmitancia, representa el porcentaje de energía transmitida

### Evaporación

La evaporación es definida por Morillón<sup>23</sup> (1993) como el cambio de estado de un líquido a vapor y dice que es necesaria energía para lograr este proceso, siendo necesarias por tanto las fuentes externas de calor como sol y cuerpos calientes adyacentes, y en caso de no existir la energía proviene del mismo cuerpo y se llama energía interna. Así, la evaporación genera el enfriamiento del fluido y de la superficie que lo contiene.

Se define también como la transmisión de calor unidireccional, en este caso de la construcción hacia el aire ambiente por la evaporación. Ésta pérdida de calor de la construcción depende del volumen de aire ambiente ventilado, de su temperatura y de la presión parcial de vapor de agua.

<sup>23</sup>MORILLÓN, David, *BIOCLIMÁTICA, SISTEMAS PASIVOS DE CLIMATIZACIÓN*, Universidad de Guadalajara, México, 1993



Mientras las tres primeras formas de transmisión (convección, conducción, radiación) se refieren al calor sensible, la evaporación se refiere al calor latente.

### **Efectos de ventilación**

Aunque el estudio de la ventilación comprende dos categorías generales (Chávez et al.:1996:96) ventilación y el movimiento del aire, es imposible tener una sin la otra, pues a pesar de que desde el punto de vista térmico “la ventilación crea pérdidas de calor del interior al reemplazar el aire que sale por el que entra a menor temperatura, el movimiento de aire reduce la temperatura efectiva al incrementar el enfriamiento evaporativo y convectivo del cuerpo”<sup>24</sup>.

Los edificios realizan el intercambio de aire por tres formas, por ventilación forzada, por ventilación natural, por infiltración. La ventilación natural es un flujo de aire sin energía a través de ventanas abiertas, puertas y otras aberturas intencionales en el edificio. La ventilación forzada en cambio, es intencional, es un intercambio de aire propulsado por un dispositivo a través de orificios para toma y descarga de aire. La infiltración es un flujo de aire no controlado a través de grietas, intersticios y otras aberturas no intencionales.

Cualquier tipo de flujo de ventilación natural es causado por: diferencias de presión debido al viento, diferencia de temperatura interior-exterior y operaciones de aplicaciones o dispositivos. Estas formas de intercambio de aire difieren significativamente en las formas que afectan la energía, la calidad del aire, el confort térmico.

La cuota de intercambio de aire de una edificación en un momento dado generalmente incluye cuatro modos: la tasa de flujo de aire de los sistemas de ventilación, la resistencia al flujo de aire en los sistemas de distribución, la resistencia al flujo de aire entre las zonas del edificio, y el aislamiento de la

---

<sup>24</sup> CHÁVEZ García y Allard Francis, *OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE LA VENTILACIÓN NATURAL EN LAS EDIFICACIONES*, Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México, 1996.



edificación, por ello debe observarse el cálculo adecuado de estos factores para que la tasa de intercambio de aire resulte adecuada.

Particularmente la ventilación forzada no es de uso general para residencias o en otro tipo de estructuras con envolturas, pero cabría la posibilidad de aprovechar los beneficios en estructuras que no utilizan sistemas mecánicos de control ambiental. Sin embargo, edificaciones más herméticas requieren mayores sistemas de ventilación para asegurar una adecuada cantidad de aire exterior para mantener una aceptable calidad de aire interior; y aunque el flujo de aire a través de aberturas de diseño puede ser utilizado para proveer una ventilación adecuada, para disminuir contaminantes y controlar temperaturas, cabe mencionar que la ventilación natural algunas veces induce infiltración.

#### **Ventilación y cargas térmicas**

García Chávez et al. (1996) argumentan que con un buen manejo del viento puede darse la ventilación natural adecuada en las edificaciones y paralelamente ayudar en el control de las cargas térmicas, controlar los contenidos de humedad del aire y permitir la renovación de aire intramuros.

El intercambio de aire, típicamente representa entre un 20% y un 40% de las cargas térmicas de la edificación, además de incrementar las cargas térmicas de tres maneras:

1. Cuando es necesario enfriar o calentar el aire entrante.
2. Cuando el intercambio de aire aumenta el contenido de humedad, y en algunas áreas cuando el aire húmedo del exterior debe ser deshumidificado.



3. Cuando se disminuye el rendimiento del sistema de envoltura o aislamiento.

### **Mecanismos de funcionamiento**

Cuando el viento incide contra una edificación produce una distribución de presiones estáticas sobre la superficie exterior de la edificación, la cual depende de la dirección del viento, y de la ubicación en el exterior de la edificación. Cuando existe una diferencia de temperatura exterior-interior, se impone un gradiente en la diferencia de presión.

Esta diferencia de presión  $\Delta p_i$  es una función de la altura y la diferencia de temperatura, y depende también de las características de las aberturas, de su ubicación y de la relación entre las diferencias de presión y el flujo de aire para cada abertura.

Debe considerarse que las masas de aire que entran en la edificación son iguales a las masas que fluyen hacia afuera. En general la diferencia de densidad entre las interiores y las exteriores pueden ser descartadas, tal que la tasa de flujo de aire volumétrico que entra al edificio se iguala a la tasa de aire volumétrico que sale.

### **Análisis de los efectos de la ventilación natural en las edificaciones**

La ventilación en la edificación permitirá entre otras cosas, la disminución en los niveles de humedad, que debe ser prevista desde el diseño arquitectónico, ya que además, muchas de las actividades que se realizan en el interior de los recintos generan humedad también. Por ello es imprescindible para climas calidos húmedos hacer uso de estrategias de ventilación, por supuesto, dice Serra (2002) entre mas complejo sea el clima de la humedad y del aire a tratar, mas complejas serán las soluciones.



La ventilación natural es una de las estrategias prioritarias para disminuir las cargas térmicas, para eso son tres los fenómenos principales de la ventilación natural a ser utilizados en las edificaciones<sup>25</sup> Chávez et al. (1996):

1. El efecto directo del viento, con el que se pueden disminuir las cargas térmicas internas y las cargas solares al cambiarse el aire interior por el exterior que se encuentra a menor temperatura.
2. Los movimientos internos de aire inducidos por la ventilación natural dentro de las edificaciones pueden contribuir al enfriamiento directo de los ocupantes, cuando aumentan los intercambios evaporativos y convectivos en la superficie de la piel.
3. Los flujos de aire por ventilación natural pueden utilizarse para enfriar la estructura del edificio durante períodos específicos (generalmente durante la noche) eliminando el calor almacenado en la estructura.

La ventilación natural depende de las distribuciones de presión en el recinto y alrededor, así el flujo de aire en un espacio es causado por dos elementos, diferencias de presión por efectos del viento directo y diferencias de presión por diferencias de temperatura.

Chávez et al.<sup>26</sup> Presentan la ecuación para el flujo de ventilación con aberturas de aproximadamente áreas iguales

---

<sup>25</sup> CHÁVEZ García y Allard Francis, *OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE LA VENTILACIÓN NATURAL EN LAS EDIFICACIONES*, Semana Nacional de energía Solar, ANES, México, 1996.

<sup>26</sup> CHÁVEZ, 1996, *Ibíd.*



$$V = 0.12 \times A \times H \times (T_i - T_o)$$

Donde:

$V$  = Cantidad de aire o volumen por unidad de tiempo en m<sup>3</sup> / seg

$A$  = Área de cada abertura

$H$  = Distancia vertical entre aberturas

$T_i$  = Temperatura interior

$T_o$  = Temperatura exterior.

Y agregan que la relación entre la velocidad del viento y el campo de presión sobre un edificio se define utilizando la *Ley de Bernoulli*, para lo que se define el coeficiente de presión  $C_p$  en la ecuación

$$C_p = (P - P_o) / P_r$$

Donde

$$P_r = \frac{1}{2} (\rho V^2)$$

Donde:

$P$  = Densidad del aire (1,293 kg/m<sup>3</sup> en condiciones normales)

$P_r$  = Presión de referencia

$V$  = Velocidad media del viento a la altura de referencia

Por definición este coeficiente  $C_p$  varia con la posición sobre el edificio, la dirección del viento, la forma del edificio y la configuración del entorno circundante. Esta ecuación se aplica cuando se supone que la densidad del aire es constante y que las líneas de corriente son horizontales.

La relación entre la presión medida en un punto de la fachada y la presión del viento en un punto de referencia donde este fluye libre se conoce también como





coeficiente de presión. En orden de una correcta ubicación de las aberturas de entrada y salida de aire este dato es de gran importancia.

Los valores de  $C_p$  sirven para calcular la presión dinámica del viento sobre ese punto: con el desarrollo de la ecuación pueden determinarse los puntos óptimos para las entradas de aire, es decir en donde se encuentran las presiones positivas, y también determina donde se dan las presiones negativas para ubicar las salidas del aire; también puede darse un valor nulo igual 0. Sin embargo la eficiencia del sistema de ventilación estará dada principalmente por la localización y calculo de los extremos del sistema logrando una diferencia de presiones en ambos puntos. Si se tiene en cuenta que las aberturas de entrada deben localizarse en la zona de alta presión y las aberturas de salida en las zonas de baja presión, el aire circulará mucho mejor en el interior. Debe considerarse que los  $C_p$  dependen de la forma del edificio, el ángulo de incidencia del viento, el tipo de viento que incide sobre le edificio y las condiciones del entorno<sup>27</sup>.

Como se ha dicho, la diferencia de presiones debida a temperaturas, es también un factor que interviene en la ventilación y la infiltración, esto resulta en un gradiente que se presenta en sentido vertical y se debe a la diferencia de densidades entre el aire exterior y el aire interior.

Chávez et al. (1996) presentan la ecuación que representa tales diferencias de presiones por efecto térmico:

$$P_i - P_j = P_M - P_N + P_{si}$$

Donde:

$P_i - P_j$  = diferencial local de presión

$P_{si}$  = efecto de diferencia de presiones o "tiraje térmico"

$$P_{si} = \rho_M g (Z_M - Z_i) - \rho_N g (Z_N - Z_j)$$

$\rho_M$  y  $\rho_N$  = densidades del aire en cada una de las zonas  $M$  y  $N$ .

<sup>27</sup> CHÁVEZ, 1996, Ibídem



Para la modelación de la predicción de la velocidad interna del aire Chávez et al. (1996) presentan dos modelos, el de Baruch Givoni (1981) y el de Ernest (1991) el modelo propuesto por Baruch Givoni (1981) “define una velocidad promedio del aire dentro de un espacio, en función de la velocidad de referencia y de las características geométricas de las aberturas, para el caso predominante de una ventilación cruzada”.

$$V \text{ (m/seg)} = 0.45 (1 - e^{-3.84x}) V_z$$

El Método de Ernest (1991) “establece una relación empírica entre el coeficiente de velocidad y los coeficientes de presión en las fachadas de entrada y salida del aire... Donde A, B, C, D, E son constantes empíricas determinadas a partir de experimentos en un túnel de viento”.

$$Cv^2 (\phi, Cpe, Cps) = A \phi C_p + B Cpe \cos\phi + C$$

$$Cps + D \cos\phi + E$$

El movimiento del aire produce tres efectos sobre los objetos<sup>28</sup> (Chávez et al.:1996), un efecto mecánico, que es una fuerza deformadora en la superficie de choque, un efecto térmico ya que modifica los flujos dados por la convección, cambia el aire saturado por la humedad y propicia la evaporación, y un efecto aerodinámico que se da cuando se modifican los flujos de aire arrastrando partículas de polución.

### II.3 Humedad en la edificación

<sup>28</sup> CHÁVEZ García y Allard Francis, *OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE LA VENTILACIÓN NATURAL EN LAS EDIFICACIONES*, Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México, 1996



Un elemento importante del aire es el contenido de vapor de agua es decir su nivel de humedad. Cuando dicha humedad es baja se facilita el proceso de evaporación. Otro elemento del aire y que incide en la humedad, es su movimiento, ya que incrementa la cesión de calor y de humedad al aire, así cuando se presenta una sensación de bochorno por altas temperaturas y humedad, el movimiento del aire permitirá la mitigación de la sensación de calor al incrementar las pérdidas por convección y evaporación. La conjunción de la temperatura y humedad puede cuantificarse en una carta psicrométrica (que será tratada en el apartado II.4).

La humedad en los muros, que se observa a través de las manchas y aparición de hongos sobre la superficie, se atribuye a la filtración de agua desde el exterior y a la condensación de vapor de agua, ya sea generada dentro de la vivienda o al interior de los muros. Esto se produce generalmente cuando algún elemento de la envolvente se halla por debajo de la temperatura de rocío, provocando que el vapor de agua contenido en el ambiente se condense en ese punto y dándose la llamada condensación superficial.

En un espacio en donde la actividad genere altos niveles de vapor de agua o que no esté correctamente ventilado, habrá mayores posibilidades de que se condense en cuanto se den las condiciones de humedad y temperatura requeridas.

Entre las estrategias principales para disminuir los efectos nocivos de la humedad Serra (2002) presenta tres alternativas basadas en el aprovechamiento de la ventilación:

a) La acción contra la humedad. “El aire exterior aunque sea húmedo en valores absolutos siempre lo será menor que el aire interior estancado” (Serra: 2002:25). Argumenta que la ventilación continua de día y de noche favorecerá las condiciones, sin ser necesario un alto volumen da aire intercambiado.



b) La acción directa en la sensación de térmica. Comenta que es posible disminuir la sensación en algunos grados pero que será necesario cuidar el no introducir aire exterior más cálido.

c) La renovación del aire interior. Comenta que el intercambio de aire interior o con aire exterior más fresco es posible, mediante ventilación nocturna o de la toma de aire de lugares más frescos e inclusive no es necesaria una tasa alta de renovación.

### **Condensación y humedad**

La humedad en las construcciones, aparece por diversos factores como la condensación superficial, que puede ser derivada del vapor generado dentro de la vivienda, en la que se humedece con gotas la superficie expuesta de las paredes, en todo caso, la ventilación es una opción recomendable para disminuir este problema. La condensación intersticial es otro factor de humedad que puede ser provocada por diversas causas como una deficiente barrera de vapor, por el coeficiente de transmitancia térmica K de los materiales, por ventilación ineficiente, por los puentes térmicos, cuando un punto interior del muro se encuentra a la temperatura de rocío. La humedad también puede ser provocada por capilaridad, el nivel de altura depende del proceso de evaporación y el diámetro de los capilares, entre menos evaporación y capilares más finos, mayor es la altura que alcanza.

La humedad puede ser disminuida por diversas formas, algunas más costosas que otras en su implementación y mantenimiento.

- Con sistemas drenantes del propio terreno alrededor de la edificación.
- Sellando la capilaridad con inyecciones de silicona a cada 30 cm. No aplica muros huecos



- Corte del muro por partes en forma alternada en franjas de 40 o 50cm e introducir en los cortes una capa hidrófuga.
- Campo eléctrico, se hace con un dispositivo que emite una frecuencia que produce el descenso del agua. Según especificaciones del proveedor tarda entre 6 y 10 meses en secar definitivamente los muros, ya que la humedad retenida debe evaporarse sola, pero no permite que el agua suba por capilaridad nuevamente.
- Placas de yeso con un proceso especial, que se aplica sobre la superficie húmeda, y que la elimina por evaporación controlada.

Otras causas de humedad pueden ser por deficiente aislación, techos inclinados mal resueltos, fisuras, cañerías que “transpiran”, filtraciones por aberturas. En ocasiones las causas del problema son diversas haciendo más complicada su solución.

A fin de disminuir las condensaciones algunos trabajos de investigación recomiendan:

- Utilizar muros con un coeficiente de transmitancia térmica K inferior a 1.78 W/m<sup>2</sup>K.
- Provocar ventilación cruzada interior.
- Favorecer la extracción de aire.
- Hacer uso adecuado de barreras de vapor continuas.
- Evitar la formación de puentes térmicos.



### **Condensación**

El fenómeno de condensación depende de los rangos entre la temperatura y humedad relativa interior y los exteriores, así como de las condiciones generales del microclima.

La condensación está en relación directa con el coeficiente de transmitancia térmica es decir a mayor transmitancia térmica de superficie exterior, mayor será la condensación. Tal es la causa de que el fenómeno de condensación se da con mayor frecuencia en rincones, aristas detrás de objetos en contacto Sin muros exteriores, debido a que la circulación del aire se dificulta por la interposición de los elementos aumentando la resistencia térmica superficial interna, que trae como consecuencia una reducción abrupta del gradiente de temperatura entre las superficies, alcanzándose de esta manera una temperatura superficial inferior a la del resto del muro.

### **Condensación intersticial**

En ocasiones la temperatura de rocío se alcanza en el interior de los muros, en la cavidad que se forma entre las dos paredes que conforman el muro hueco, provocando que el vapor de agua que se mueve del interior al exterior condense en la cavidad de éste, dándose la condensación intersticial.

## **II.4 Procesos psicrométricos**

### **Balance energético del edificio**

Así como el conjunto que forma la tierra y la atmósfera se encuentra sometido permanentemente al flujo energético (procedente del sol), de la misma forma el edificio se encuentra en constantes flujos de entrada y salida en intercambio con el medio circundante.

Este flujo establece los equilibrios térmicos, tal como en la tierra en su intercambio con la atmósfera, en la escala de un año, el balance energético es nulo, de la misma forma, en periodos determinados, el balance energético de los



edificios es nulo. La energía total devuelta al espacio por el sistema tierra-atmosfera o edificio-entorno, es igual a la energía suministrada por el sol o por el medio. Los intercambios no se dan de manera espontánea, y en el proceso hay un desfazamiento entre los procesos de aportación y de restitución. De manera similar pueden explicarse los procesos psicrométricos que se dan en un sistema.

### **Carta psicrométrica**

Una carta psicrométrica permite conocer las evoluciones del aire durante un ciclo de enfriamiento, calentamiento, humidificación, o un ciclo completo de adecuación climática.

La carta proporciona algunas características y magnitudes del aire húmedo, para ello basta contar con dos de sus dimensiones y las demás podrán obtenerse por tablas psicrométricas o directamente sobre el gráfico. El gráfico se utiliza para conocer la influencia conjunta de aire y humedad.

Los valores que pueden obtenerse sobre la carta psicrométrica son: La temperatura de bulbo seco, la temperatura de bulbo húmedo °C, temperatura de rocío, el contenido de agua de aire húmedo g/kg, la entalpía del aire húmedo kJ/kg, la humedad relativa%, el volumen específico de aire, el factor de calor sensible (FIG. 08).

Es importante considerar que el aire a una determinada temperatura sólo puede soportar una cantidad limitada de vapor de agua, cuando llega al límite se dice que se satura, representado en una curva en la parte superior.

Al respecto de los datos de humedad de la carta, Schittich et al.<sup>29</sup> (2004) comentan, “otra expresión de la humedad, es la *presión de vapor* (pv) que es la

---

<sup>29</sup> SCHITTICH Christian et Szokolay, Steven Vajk, *INTRODUCTION TO ARCHITECTURAL SCIENCE: THE BASIS OF SUSTAINABLE DESIGN*, Elsevier Architectural, Amsterdam, 2004.



presión parcial de vapor de agua contenido en la atmósfera, la saturación de la presión de vapor es  $p_{vs}$ ”

Entonces  $RH = (AH/SH) \times 100$  ó  $(p_v/p_{vs}) \times 100$  (en %)

En donde:

$RH$ = Humedad relativa en %

$AH$ = Humedad absoluta

$SH$ = Punto de saturación

Schittich (2004) menciona que la evaporación es inversamente proporcional a la humedad, en aire saturado no hay evaporación ni enfriamiento, entonces coinciden en las líneas de saturación la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo.

La entalpía ( $H$ ) es medida en  $\text{kJ/kg}$ , es decir el calor contenido en una masa de un kilo de aire. La entalpía tiene dos componentes, el calor sensible ( $H_s$ ) y el calor latente ( $H_L$ ) ésta se indica en una escala fuera del cuerpo de carta psicrométrica y es la distancia diagonal desde  $0^\circ\text{C}$  y el punto 0 de humedad relativa, así que su componente horizontal es el calor sensible y su componente vertical es el calor latente.

El volumen específico de aire es el volumen de aire ocupado por un kilo de aire a presión normal, dado en  $\text{m}^3/\text{kg}$  y es el recíproco a la densidad, que se expresa  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Como se ha mencionado, los procesos psicrométricos o cambios pueden ser trazados sobre la carta.

Schittich (2004) expone estos procesos de la siguiente forma: el proceso de enfriamiento baja la temperatura de bulbo seco, y el punto de estado se mueve horizontalmente a la izquierda, esto causa el incremento de la humedad relativa,





pero la humedad absoluta no cambia. Cuando esta línea horizontal alcanza la curva de saturación la temperatura de punto rocío puede ser leída (con respecto a la dada por la humedad absoluta), de acuerdo a lo dicho si se tiene una temperatura de 20.5°C y la HR será del 100%. Si el aire es enfriado por debajo de este punto, entonces aparecerá la condensación y el rocío se formará. Por debajo del “punto de rocío” el punto de estado se mueve a lo largo de la curva de saturación y la humedad absoluta correspondiente al punto de caída vertical tendrá condensación.

Continuando con el ejemplo. Los 29°C del aire de 15.2 g/kg de humedad absoluta, 60% de humedad relativa, tiene su punto de rocío a los 20.5°C, y si es enfriado, por ejemplo a 15°C, en ese punto, en el que estará saturado, la humedad absoluta será de 10.5g/kg, así que la diferencia de 15.2-10.5 o 4.7g/kg habrá condensado en forma líquida.

La evaporación de la humedad en un volumen de aire se dice que es adiabático siempre y cuando no se le aumente calor o se le quite. Esto causa la reducción de temperatura pero incrementa la humedad absoluta y la humedad relativa. El punto de estado se mueve hacia arriba y a la izquierda a lo largo de la línea de temperatura de bulbo húmedo.

La deshumidificación adiabática toma lugar cuando el aire pasa por un adsorbente químico el cual remueve algo del vapor contenido (ya sea por absorción o por adsorción). Este proceso libera calor, entonces la temperatura de bulbo seco se incrementará mientras la humedad es reducida (tanto la absoluta como la relativa).





## **CAPITULO III**

# **DETERMINACIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO**



## CONTENIDO

III.1 Presentación del problema .....	59
Planteamiento teórico del problema.....	60
III.2 Determinantes para el sistema físico .....	61
III.3 Metodología para el desarrollo del prototipo experimental .....	62
Planteamiento del SAI.....	62
III.4 Planteamiento del proceso experimental .....	63
Descripción del sistema .....	66
Proceso experimental .....	66
Esquema del funcionamiento del SAI.....	67
III.5 Desarrollo del prototipo .....	68
Esquemas de los prototipos.....	68
III.6 Proceso constructivo del sistema arquitectónico experimental .....	71
III.7 Procesos constructivos del sistema de aireación .....	72
III.8 Instrumental .....	74
Propuesta de localización del instrumental .....	76
Colocación del instrumental .....	77



### III.1 Presentación del problema

La carencia de consideraciones de los factores ambientales locales<sup>1</sup> ha resultado en edificaciones ineficientes necesitando para su operatividad durante su vida útil, el uso irracional de materiales y energía proveniente de fuentes fósiles.

Particularmente en el clima cálido húmedo, el problema del efecto de la humedad sobre los elementos arquitectónicos, pocas veces es estudiado, limitándose a la utilización de impermeabilizantes o tratamientos con productos químicos que retardan la aparición de los problemas, pero que no disminuyen la humedad intramuros, generando: moho, aire insalubre, malos olores, deterioro de la construcción y accesorios, así como gasto innecesario por mantenimiento y rehabilitación. Colateralmente, en términos de sustentabilidad, existe un gasto innecesario de recursos naturales y energéticos por lo que el ciclo de vida de la edificación representa.

Aunque las causas son diversas, tales como:

- Filtración de agua debido a un deficiente aislamiento hidrófugo.
- La diferencia de temperatura que se da entre el interior del muro y el exterior, provocando que el vapor de agua se libere a través del muro, condensándose en el proceso.
- La falta de ventilación que genera por las noches, cuando se lleva a cabo la emisividad, que la carga térmica de los muros sea aún considerable.
- Filtración de agua debido a un deficiente aislamiento hidrófugo.
- Capilaridad ascendente.
- Grietas y juntas permeables en la estructura, entre cimentación y pared.
- Impermeabilizaciones verticales defectuosas
- Humedad higroscópica provocada por la sal.

---

<sup>1</sup> Tabasco se encuentra en una región Tropical Húmeda presenta temperaturas promedio de 32.1° C alcanzando máximas en primavera – verano de 44° C y humedades relativas de 60-80%. El régimen de lluvias se incrementa de junio a octubre alcanzando una media anual de 2,000mm. En THE WEATHER CHANEL, <http://www.enjoymexico.net/mexico/villahermosa-clima-mexico.php>, consultado 02/02/2009

Daños en drenajes, conductos de ventilación y de eliminación de residuos.

- Aumento de la carga de humedad por aguas subterráneas o filtración de agua de superficie.
- Diferencia de temperatura interior – exterior.
- Vapor de agua.
- Falta de ventilación.

El problema se atribuye principalmente a una ineficiente aplicación de los estudios sobre ventilación y al inadecuado aislamiento térmico. Si bien existen algunas soluciones de ventilación mecánica en el mercado, que hacen más eficiente la vida útil de la edificación, poco se ha planteado para el clima cálido húmedo, donde por antonomasia los retos del sistema son: incorporar aire seco a la edificación y lograr mantener la edificación fresca durante el día.

La acumulación de humedad en los muros por cualquiera de las causas mencionadas, provoca en conjunto con la condiciones bioclimáticas el fenómeno de condensación, por lo que disminuir las situaciones de riesgo de condensación en los elementos arquitectónicos puede en principio ser una solución al problema de deterioro en la construcción causado por humedad y los consecuentes problemas térmicos y energéticos.

Específicamente se busca reducir los niveles de humedad intramuros en construcciones nuevas y en uso. Para ello se pretende diseñar un sistema físico que aproveche el calentamiento, por inercia térmica y radiación solar, de la envolvente del edificio y que colabore al óptimo mantenimiento físico de la edificación y al acercamiento a las condiciones de confort térmico.

#### **Planteamiento teórico del problema**

En resumen, los trabajos de investigación bibliográfica recopilados, son análisis numéricos y experimentales que sirven como dato referencial a la ingeniería mecánica principalmente, resumiéndose de la siguiente manera:



- Gran parte de los documentos que hablan sobre humedad pertenecen a fichas técnicas de productos comerciales o a reglamentos o códigos de construcción
- Aunque algunos estudios ponderan los efectos de humedad, no detallan estudios de condiciones higrotérmicas.
- Las investigaciones no consideran variables de carácter arquitectónico.
- En el campo de la arquitectura, el mayor referente aborda el tema de convección, pero existe poco de condensación.
- Los referentes normativos de condensación más frecuentes son de carácter internacional.
- Los estudios plantean la pertinencia de airear los muros para disminuir el riesgo de condensación permanente.
- Los resultados experimentales y analíticos permiten ver la conveniencia de utilizar estrategias como la convección entre dos placas como estrategia para lograr el enfriamiento.
- Los estudios de condensación sugieren la utilización de barreras de vapor.
- Los estudios de condiciones higrotérmicas de los elementos de construcción determinan las causas de los problemas de humedad y condensación, abocándose al referente de utilización de productos comerciales impermeabilizantes.

### III.2 Determinantes para el sistema físico

A partir del análisis de los estudios presentados se determinó que las condiciones a ponderar para el planteamiento teórico experimental fueron:

El Flujo de calor:

Asimétrico

Paralelo

Constante,

Posición de las placas:

Horizontal,

Vertical

La temperatura:

- Las condiciones en estado estático,
- Las condiciones en estado dinámico,

La convección:

- Natural
- Forzada

Las variables arquitectónicas a considerar en el planteamiento son:

- Orientación
- Espesor
- Tamaño
- Composición
- Situación en el espacio.

### III.3 Metodología para el desarrollo del prototipo experimental

#### Planteamiento del SAI

El sistema propuesto por su desarrollo fue nombrado SAI (Sistema de Aireación Inducida). De acuerdo al planteamiento hipotético, el estudio se basa en los principios de balance de energía en un sistema, el cual estará limitado por los elementos arquitectónicos y su entorno inmediato, por lo que se tipificarán los aspectos de clima, microclima, humedad relativa, viento, y radiación. El sistema se modelará como un *sistema dinámico*, definido por Marincic (1999) como “un sistema complejo que presenta un cambio o evolución de su estado en un tiempo, el comportamiento en dicho estado se puede caracterizar determinando los límites del sistema, los elementos y sus relaciones”<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Confrontar: MARINCIC Irene, *RESPUESTAS TÉRMICAS DINÁMICAS EN EDIFICIOS*, tesis doctoral, UNIVERSIDAD politécnica De Cataluña, 1999





Un sistema dinámico caracterizado así, permite elaborar modelos que tipifiquen la estructura del mismo sistema considerando factores endógenos y exógenos limitados.

Con base en el marco teórico, se propone un sistema de aireación al interior de los muros (SAI) aprovechando la consistencia y la geometría de los materiales y el calentamiento de la envolvente. Se plantea que la aireación permitirá la disminución del contenido de vapor de agua reduciendo los efectos por condensación permanente. El sistema (SAI) se basa en el fenómeno de convección inducida y consiste en placas (muros) por las que se haga circular aire por flotación o diferencias de presión.

Los indicadores son, humedad del aire que entra, humedad del aire que sale, temperatura del aire que entra, temperatura del aire que sale. Los indicadores que se plantean se derivan del análisis de los fenómenos imbricados en la investigación así como de los estudios referidos, sin embargo el planteamiento teórico sugiere para una correcta interpretación, determinar la factibilidad de considerar otros elementos, como son:

Temperaturas máximas, mínimas y medias.

Momentos de la humedad máxima, mínima y promedio.

Condiciones ambientales como viento y radiación.

#### **III.4 Planteamiento del proceso experimental**

El principio que se plantea, consiste en aprovechar el calentamiento de las losas<sup>3</sup> y muros como fuente de energía del sistema propuesto, provocado por radiación y temperatura ambiente, logrando el efecto chimenea a través de un

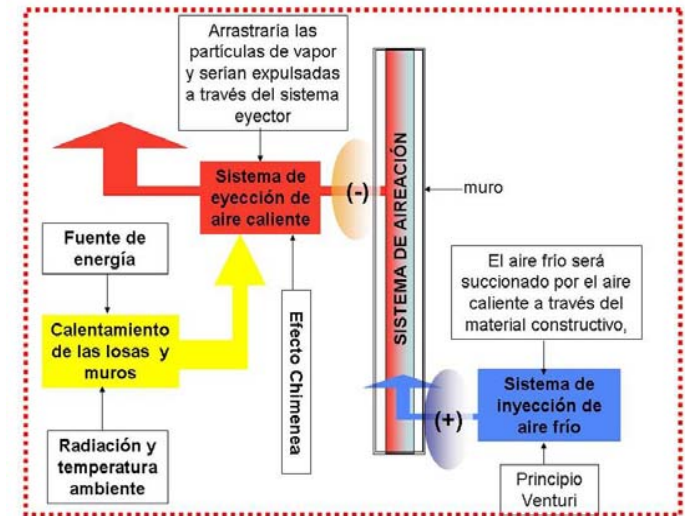
---

<sup>3</sup>LÓPEZ Aída, et. Al., 2004, determinaron en la investigación *APLICACIÓN DE LA NOM-008:ENER-2001 EN EDIFICIOS DE ENSEÑANZA DE LA DAIA*, en Cuauacán Tabasco, que la mayor carga térmica se da en las losa por el asoleamiento derivado de las condiciones ambientales y el propio diseño.

sistema de eyección de aire caliente, suponiendo que por otra parte se inyecta aire frío a la edificación y específicamente al muro a través de un sistema de inyección, con base en el principio de Venturi, el aire frío será succionado por el aire caliente a través de las cámaras del material constructivo, lo que arrastraría las partículas de vapor a través del sistema eyector (ESQ. III.1).

La forma en que se planteó el desarrollo de la investigación tuvo el siguiente orden:

1. Investigación teórica. En el capítulo II se desarrollaron los temas correspondientes al fenómeno y el problema para su conocimiento, análisis y síntesis del problema que se plantea, así como los temas que permitieron plantear el proceso experimental y las expectativas.
2. Experimentación. La experimentación se propuso como herramienta principal de corroboración de las hipótesis, lo cual condujo a la construcción de modelos a escala para un adecuado funcionamiento y una adaptación congruente a los modelos y sistemas arquitectónicos.
3. Análisis estadístico de los registros levantados durante la experimentación. Lo cual permitió realizar las inferencias que expliquen los comportamientos del sistema probado.
4. Modelación en la carta psicrométrica. Se planteó como la forma de corroborar la teoría confrontada al proceso experimental, y permitió la modelación concreta del SAI, de tal forma que funcione como una herramienta para continuar con propuestas de carácter teórico, analítico y formal posteriormente.
5. Ponderación de los resultados.



ESQUEMA III.1. PROPUESTA TEORICA DEL SISTEMA: Muestra la estrategia basada en los principios del efecto chimenea y efecto Venturi para lograr que el aire circule por el interior de los muros, utilizando la carga térmica de la envolvente.



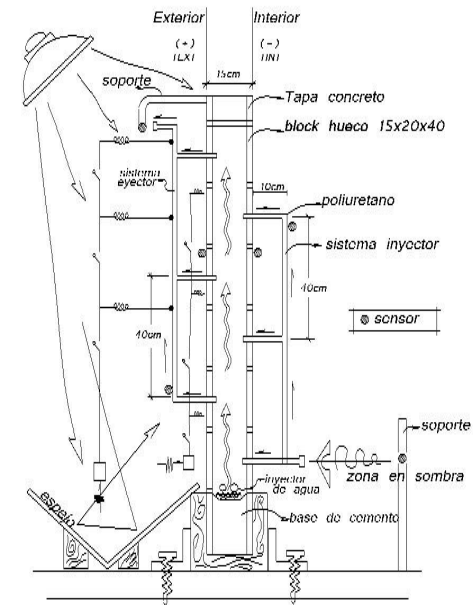
El estudio consideró como las herramientas más indicadas, la medición directa. Para el levantamiento de datos se consideraron ciclos diarios en condiciones ambientales reales con un intervalo de tiempo típico, que permitió obtener un campo de datos suficiente para su validación estadística.

Para que el estudio permaneciera anclado al campo de la arquitectura se consideró importante precisar la relación de los fenómenos con el espacio. Desde la perspectiva de la arquitectura bioclimática también fue importante determinar la factibilidad de basarse en el efecto succión por diferencias de presión.

De acuerdo a la revisión bibliográfica sobre los procesos de comportamiento térmico de la edificación, condensación y convección, el sistema presenta diferencias de comportamiento en el techo y en el muro, por lo tanto se limitó solamente a los muros (elementos verticales).

El proyecto se basó en lo siguiente:

- Estudio analítico basado en el desarrollo experimental de la convección inducida.
- Entre dos placas verticales (conformación del muro).
- Isotermicamente asimétricas (por la diferencia de temperaturas interior-exterior).
- A temperatura variable en la cavidad (se consideró pertinente observar el desarrollo del fenómeno durante el día y la noche para poder inferir adecuadamente).
- Con flujo de calor constante sobre las paredes interna y externa (para simular el comportamiento real de las condiciones de temperatura y transmisión de calor en el sistema).



ESQUEMA III. 2. CONSTRUCCION DEL SISTEMA Y SOPORTE AMBIENTAL: El esquema muestra la colocación de los dispositivos que proporcionarían las condiciones ambientales en conjunto con el prototipo experimental. Puede inferirse incluso la complejidad de considerar factores como la orientación, puesto que ello representaría una construcción múltiple de los dispositivos, elevando los costos y principalmente los riesgos de aumentar el factor de error en logro de las condiciones ambientales.

- Conjugando los efectos de condensación bajo tales condiciones mencionadas.

### Descripción del sistema

Para el planteamiento del sistema se llevaron a cabo las siguientes aproximaciones:

1ª aproximación “secado de aire”, consistente en captar el aire/ secar el aire/ inyectarlo a los muros/ inyectarlo al interior del espacio/ extraer el aire caliente.

2ª aproximación “Permitir que la construcción respire”, consistente en captar aire/ sacar el aire/ inyectarlo a los muros (considerar el sumidero de calor-liberarlo)/ inyectarlo al espacio interno/ enfriamiento y desecación/ extracción de aire caliente de intramuros y del espacio interno haciendo más eficiente el proceso de convección.

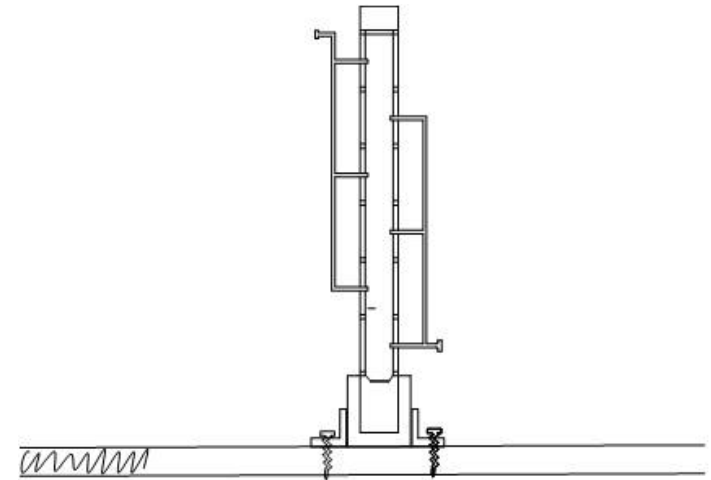
3ª aproximación “diferencia de presiones”, consiste en utilizar para el sistema de aireación un material que genere una diferencia de presión debido al calentamiento del mismo. Los puntos a considerar en esta aproximación fueron la ubicación y el material optimo.

4ª aproximación “aprovechamiento de la constitución del material”, consistente en aprovechar la forma y cámaras de aire del material de construcción para hacer pasar los flujos de aire.

5ª aproximación “eficiencia y permanencia de las condiciones del sistema”, consistente en hacer que los procesos generados por el sistema no se reviertan

### Proceso experimental

El modelo de la investigación se adaptó al método científico que parte de un fundamento teórico permitiendo el planteamiento hipotético contrastado con un modelo experimental que da lugar a la tesis.



ESQUEMA III. 3. SISTEMA ARQUITECTONICO: Es evidente la simplificación en el desarrollo de la fase experimental, sin embargo la propuesta teórica consideraba como elemental la disposición del acuerdo al asoleamiento, es decir se hizo necesario considerar el prototipo que pudiera monitorear simultáneamente las cuatro orientaciones, ya que tal consideración se expone como el principal anclaje de la investigación al campo de la arquitectura.



El proceso sistemático de la investigación se sintetiza en una serie de etapas lógicas que son:

Determinación de los principios teóricos del sistema de convección para la realización de los modelos físicos y someterlos a prueba.

Una vez probado y optimizado el sistema de convección, el estudio se llevó a cabo en un modelo arquitectónico dividido en dos secciones para cada orientación con una ruptura de puente térmico.

La primera sección del modelo se analizó bajo condiciones normales:

1. Exposición al permanente al ambiente
2. Medición la temperatura y humedad
3. Medición durante el fenómeno de emisividad

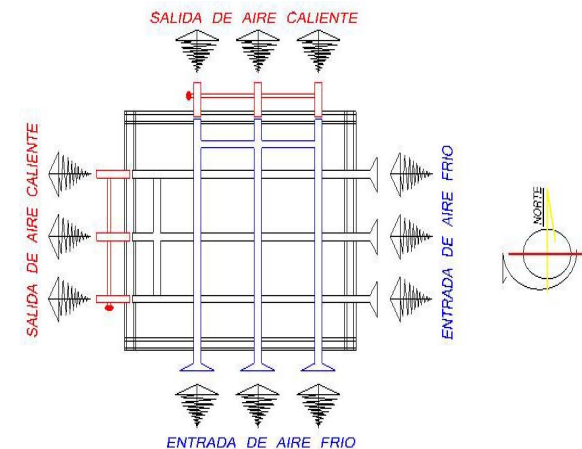
La segunda sección del modelo se analizó bajo las mismas condiciones pero en presencia del Sistema de Aireación Inducida (SAI):

La expectativa del SAI era que una vez obtenidos los datos, en la segunda sección del modelo (con el SAI) reportara diferencias menores de temperatura entre le muro y el medio ambiente con relación al muro sin SAI y que contuviera menor humedad relativa es decir menor riesgo de condensación que el muro sin SAI.

#### Esquema del funcionamiento del SAI

En la propuesta del SAI se consideró el calentamiento de la envolvente como factor detonante para su funcionamiento, particularmente la losa.

Inicialmente se planteó llevar a cabo la fase experimental en las instalaciones de la UNAM, pero esto presentaba como desafío el lograr las condiciones ambientales propuestas para operar el sistema, el prototipo sugería la utilización y construcción de dispositivos que proporcionaran las condiciones de temperatura y humedad requeridas, así como su aislamiento para conservar las condiciones.



ESQUEMA III. 4. MODELOS ARQUITECTÓNICOS INDEPENDIENTES: Este modelo presentaba como inconveniente la inyección de aire para cada orientación, pues se pretendía meter aire frío por la cara contraria al muro de inserción y ello provocaba que la orientación no fuera la más adecuada; por ejemplo, para ventilar el muro norte la inyección de aire tendría que hacerse por la fachada sur aumentando el riesgo de introducir aire caliente en lugar de aire frío.

Dadas las circunstancias el prototipo se realizó en el Estado de Tabasco, puesto que eso anularía la necesidad de simular las condiciones ambientales, reduciendo el esquema constructivo. (ESQ. III .3)

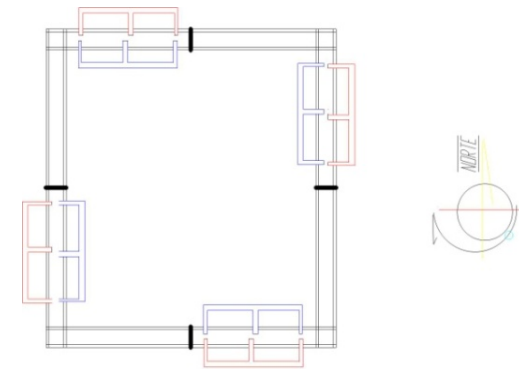
### III.5 Desarrollo del prototipo

#### Esquemas de los prototipos

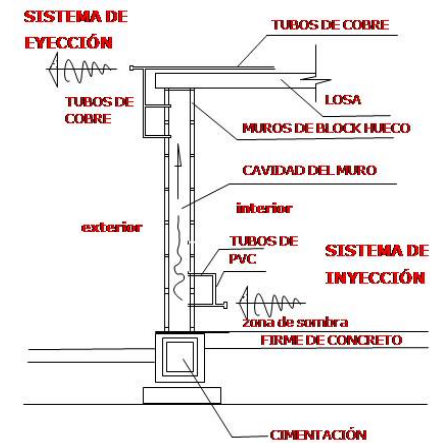
Determinados los principios teóricos y los retos experimentales se comenzó con el modelo físico de aireación (inyección y eyección), para ello fue necesario construir el modelo arquitectónico.

Inicialmente el modelo arquitectónico estaba propuesto como un muro independiente, sin embargo debió considerarse la congruencia de realizar un modelo para cada orientación por lo que se propuso la construcción de cuatro muros con características similares a las edificaciones en el estado de Tabasco. (ESQ. III .4)

Hechas tales consideraciones, el reto era levantar otros cuatro muros, uno para cada orientación, en orden de comparar el comportamiento de los muros cuando existe el SAI y sin el SAI. Por ello, se propuso que la construcción fuera una sola, obteniendo como ganancia que las condiciones ambientales, de orientación, de relación con el entorno y de disposición fueran iguales para cada orientación en la que serían probados los muros simultáneamente uno con SAI y el otro sin SAI. (ESQ. III. 5 Y 6).



ESQUEMA III. 5. SISTEMA ARQUITECTONICO INTEGRAL. En esta propuesta el reto fue evitar los puentes térmicos en los muros con la misma orientación puesto que se medirían simultáneamente y otro reto fue localizar la mejor orientación para la entrada de aire frío.



ESQUEMA III. 6. SISTEMA DE AIREACIÓN. Para la propuesta se modificó la localización del sistema eyector puesto que investigaciones anteriores determinan como elemento de la envolvente con mayor carga térmica a la losa, además de ser un elemento más factible de asoleamiento que los muros.

Resultado de las consideraciones hechas a las propuestas anteriores, tanto teóricas como prácticas, se optó por crear una ruptura de puentes térmicos en el planteamiento del sistema arquitectónico, modificar la colocación de los sistemas inyectoros y eyectores, así como considerar que la orientación norte, dada la latitud del lugar donde se construyó el prototipo, como la orientación menos afectada por el sol, por lo que se optó porque los captadores de aire estuvieran orientados hacia el norte.

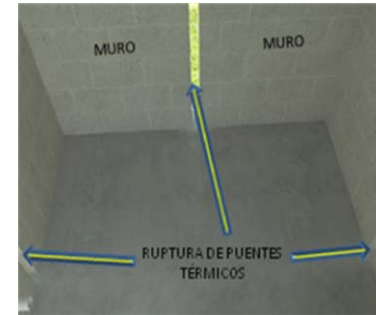
Ya que se definió llevar a cabo la experimentación sobre una construcción única, la manera en que se resolvieron los puentes térmicos fue construyendo una separación entre paredes con la misma orientación. (ESQ. III. 7)

La forma propuesta para el sistema arquitectónico permitió la medición simultánea de los muros con SAI y sin SAI. Definido el sistema arquitectónico y con lo preliminares del funcionamiento, se prosiguió ensamblar los dos sistemas en el prototipo arquitectónico. (ESQ. III. 8 Y 9)

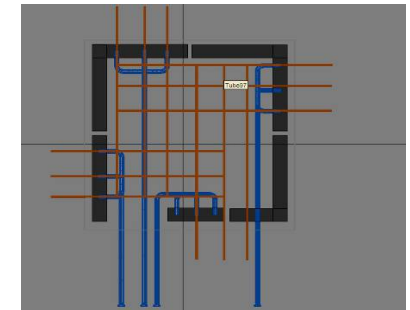
Los ramales principales del sistema inyector se orientaron hacia el noreste por ser la orientación menos afectada. (ESQ. III. 10), estas tomas de aire se realizaron con tubo de PVC de 2"Ø.

Al mismo tiempo se propuso la colocación de los sistemas de inyección para cada muro con diferente orientación, los cuales fueron conectados como continuación de las tomas principales de aire y construido de tubos de PVC de 1 1/2"Ø, en orden de conseguir el efecto Venturi. El sistema inyector se propuso por la parte interna, colocándose uno para cada orientación. (ESQ. III. 11)

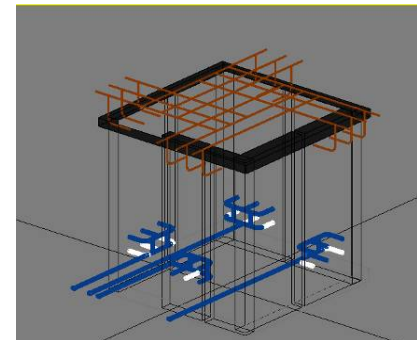
Se ensamblaron los dos sistemas, como se ha mencionado. Desde el proceso de diseño, se determinó la concordancia entre el sistema inyector y el sistema eyector, debiendo hacer un eje axial correspondiente a cada entrada y salida de aire (ESQ. III. 12).



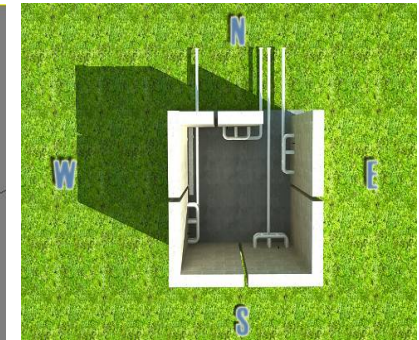
ESQUEMA III. 7. RUPTURA DE PUEBLES TÉRMICOS



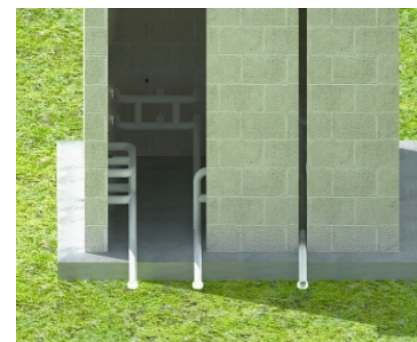
ESQUEMA III. 8. ENSAMBLE DE SISTEMAS PLANTA



ESQUEMA III.9. ENSAMBLE DE SISTEMAS ISOMÉTRICO



ESQUEMA III. 10. INTEGRACION DE SISTEMAS



ESQUEMA III.11. SISTEMA INYECTOR

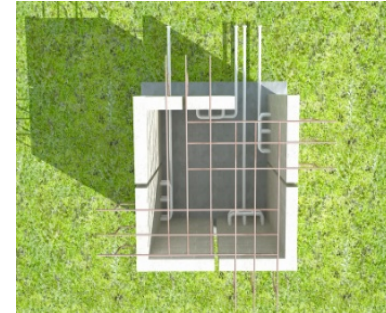




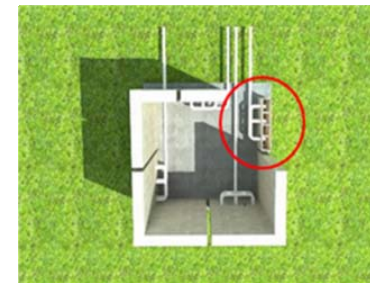
El esquema muestra la intención de que a cada entrada de aire corresponda una salida. La imagen muestra cómo sería el prototipo sin la losa.

Para poder provocar el flujo del aire, se propuso que las boquillas de inyección de aire y las de eyección quedaran en los huecos formados por el block. (ESQ. III. 13 y 14). Puede observarse en el diseño la introducción de los tubos hasta la cámara de aire que forman los blocs.

Se determinó la colocación del sistema de eyección, el cual fue diseñado sobre la losa y construido de tubos de cobre de  $\frac{1}{2}$ "  $\varnothing$ . El sistema eyector se propuso como una retícula sobre la losa para aprovechar al máximo la carga térmica de ésta, así como la radiación incidente, con base en el principio de diferencia de densidades. Las salidas de aire se propusieron en el mismo nivel de la retícula y se conectaron a los muros en un nivel más abajo. El diseño inicial planteaba una primera fase con la separación entre la losa y el sistema eyector (ESQ. III. 15, 16, 17 y 18), sin embargo, una vez levantados los primeros registros y analizados los primeros datos, se propuso una segunda fase, que consistió en pegar la retícula del sistema eyector a la losa en orden de mantener durante más horas después de la puesta del sol, las condiciones del sistema, debido a la emisividad y a la ganancia térmica por contacto con la losa.



ESQUEMA III.12.  
CONCORDANCIA DE SISTEMAS



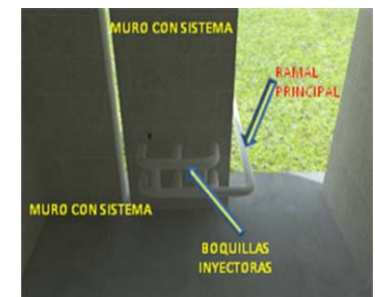
ESQUEMA III. 13. INSERCIÓN DE  
BOQUILLAS.



ESQUEMA III. 14. DETALLE DE  
INSERCIÓN.



ESQUEMA III. 15. PROPUESTA ORIENTE  
DEL SISTEMA INYECTOR



ESQUEMA III. 16. PROPUESTA  
NORTE DEL SISTEMA INYECTOR.



Los ramales del sistema eyector se conectaron a los muros en dirección descendente. Igual que en el sistema de inyección, el sistema eyector se probó simultáneamente con el muro sin SAI.

El sistema eyector se diseñó integralmente, conectándose las tuberías de todas las orientaciones entre sí. Para la orientación Norte, los muros del sistema arquitectónico fueron de dimensiones menores. (ESQ. III. 19 y 20).

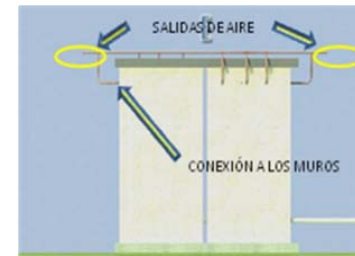
### III.6 Proceso constructivo del sistema arquitectónico experimental

Realizadas las consideraciones se inició el proceso de construcción del sistema arquitectónico, el cual constó de zapata corrida para la cimentación, firme de concreto, muros de block hueco y losa de panel W revestida con concreto.

Fue importante cuidar que en el colado de los castillos y trabes de concreto no penetrara en los huecos del block para permitir la aireación al interior (FOTO III. 1). Durante el proceso de construcción debió cuidarse la alineación de los blocs y su traslape para conformar los canales requeridos y lograr la aireación al interior de los muros, según se plantea en la hipótesis. (FOTO III. 2)

Durante el proceso debió cuidarse que no cayera mezcla en el interior e ir limpiando las cavidades, para evitar la obstrucción de los canales formados por los huecos del block (FOTO III. 3). La losa se construyó de panel de poliestireno, reforzado con acero de 3/8" y recubierto con concreto. (FOTO III. 4)

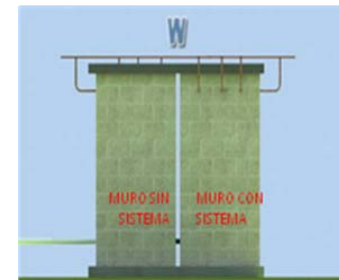
La losa por su interior se repelló con una mezcla de cemento arena. Se conformó la ruptura del puente térmico con la separación de los muros en las mismas orientaciones, a fin de poder medir simultáneamente el sistema arquitectónico con el sistema de aireación.



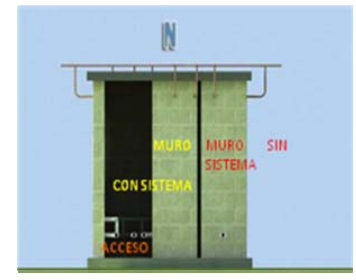
ESQUEMA III. 17. PROPUESTA ORIENTE DEL SISTEMA EYECTOR



ESQUEMA III. 18. PROPUESTA SUR DEL SISTEMA EYECTOR



ESQUEMA III. 19. PROPUESTA PONIENTE DEL SISTEMA EYECTOR



ESQUEMA III. 20. PROPUESTA NORTE DEL SISTEMA EYECTOR



FOTO III. 1. CONSTRUCCIÓN DE LOS MUROS.



FOTO III. 2. MURO NORTE DEL SISTEMA ARQUITECTÓNICO.



### III.7 Procesos constructivos del sistema de aireación

El sistema global de aireación, está conformado por dos “sistemas”, el sistema de inyección y el sistema de eyección.

Las líneas principales de inyección fueron modificadas según proyecto inicial, para colocarlas a nivel de piso, utilizando para ello codos a 45° las redes principales son de 1 1/2”Ø de PVC.

El sistema de inyección, como se ha dicho, fue realizado de tubería de PVC de 1”Ø y de 1 1/2” Ø, en su construcción se hicieron algunas modificaciones con respecto al proyecto debido a cuestiones de carácter práctico. Se observa su colocación en la parte inferior de los muros, los tubos de PVC son de 1” Ø unidos con codos, tes y coples. (FOTO III.5 y III.6). La orientación Sur fue objeto de cambios según el proyecto, puesto que la toma principal del tubo de aire se encontraba al centro, y por cuestiones prácticas se colocó lateralmente.

Las entradas individuales de aire insertadas en el muro oeste, tuvieron una longitud mayor a la propuesta en proyecto, ello se debió a la forma práctica en que hubo de conectarse el sistema para que quedara en sombra, con la mejor orientación y sin obstruir ninguna otra parte del sistema, ya que originalmente habría que perforar el muro norte, por lo que se buscó que los tubos salieran por la puerta o la separación entre los muros. (FOTO III. 7)

El muro Norte, por sus dimensiones, tuvo menor número de boquillas inyectoras (2 de 3). En la imagen puede verse que ésta orientación cuenta con dos líneas de inyección de aire, como se explica anteriormente, ello debido a la ubicación de tales redes ocasionado por la posición de la puerta y la separación de los muros. (FOTO III. 8)



FOTO III. 3. INTERIOR NOR-PONIENTE DEL SISTEMA ARQUITECTÓNICO.



FOTO III. 4. CONSTRUCCION DE LA LOSA.



FOTO III. 5. SISTEMA DE INYECCIÓN ORIENTE. Vista interior del muro oriente del sistema de inyección de aire.



FOTO III. 6. SISTEMA DE INYECCIÓN. VISTA LATERAL DEL SISTEMA DE INYECCIÓN EN EL MURO ORIENTE

El sistema de eyección se realizó de tubería de cobre de 1/2"Ø. Se consideró la utilización para este material, ya que se pretendió que el calentamiento mejorara o facilitara el desarrollo del fenómeno de succión por diferencias de presión dado por el calor cedido de la losa al tubo y al aire que por él circula. Inicialmente se colocó el entramado sobre una cama de poliuretano para evitar el intercambio de calor por conducción entre la losa y la tubería, sin embargo posteriormente se probó el sistema en contacto directo con la losa, puesto que se supuso teóricamente, que la conducción de calor de la losa a la tubería podría mantenerse por más tiempo en la tarde, debido al fenómeno de emisividad y a las propiedades de retardo térmico del concreto.

Las tomas principales de aire del sistema inyector. Se colocaron alineadas y orientadas a la fachada norte, en orden de evitar su asoleamiento.

Pueden observarse en las imágenes las tres salidas de aire en la última hilada de blocs. De igual forma puede verse la separación del muro para poder realizar las mediciones simultáneas (FOTO III. 9 y III.10).



FOTO III.7. SISTEMA INYECTOR MURO PONIENTE. Puede observarse que las entradas individuales de aire insertadas en el muro, tienen una longitud mayor a la propuesta en proyecto.



FOTO III.8. SISTEMA INYECTOR MURO NORTE. El muro norte, por sus dimensiones, tuvo menor número de boquillas inyectoras.

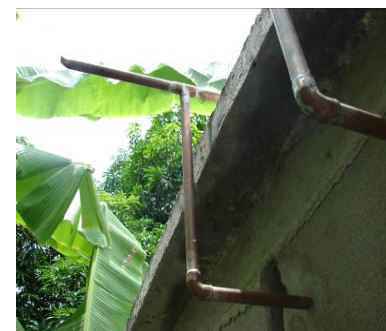


FOTO III.9. SISTEMA DE EYECCIÓN MURO NORTE.



FOTO III.10. SISTEMA DE EYECCIÓN MURO ORIENTE.



### III.8 Instrumental

El equipo con el que se contó para realizar la investigación fueron data loggers y microestaciones climáticas.

**MICROESTACIÓN CLIMÁTICA HOBO.** Se contó con 3 microestaciones de monitorización multicanal cada una consta de 4 sensores, alcanzan un registro de hasta 500 000 unidades pueden configurarse para la hora de comienzo e intervalo de las medidas. Permiten el manejo de los datos gráficos y la exportación de datos, con una memoria de 512K y una memoria EEPROM no volátil.

El rango operativo es de  $-40^{\circ}$  a  $+70^{\circ}\text{C}$

Intervalo de registro de 1 segundo a 9 horas definibles por usuario

Resistente al agua (FOTO III. 11)

Las estaciones se utilizaron para registrar la zona de inyección de aire en cada una de las orientaciones, en donde se mide humedad, temperatura y punto de rocío simultáneamente, para los datos de radiación, viento y clima exterior, así como para el levantamiento del microclima interior

**DATA LOGGERS HOBO.** Se contó con 12 data loggers y sus cables sensores con canales externos. Por su extensión y pequeña dimensión los sensores permitieron levantar los datos al interior de los muros y de las tuberías, manteniendo en perfectas condiciones físicas los data loggers (FOTO III. 12).

Las características del equipo son:

Monitorización con canal externo.

43000 unidades de registro.

Puede configurarse para la hora de comienzo e intervalo de las medidas.

Permite el manejo de los datos gráficos y la exportación de datos.

El rango operativo es de  $-20^{\circ}$  a  $+70^{\circ}\text{C}$ , con una resolución de  $0.03^{\circ}\text{C}$  y  $0.03\%HR$ .



FOTO III.11. MICROESTACIONES







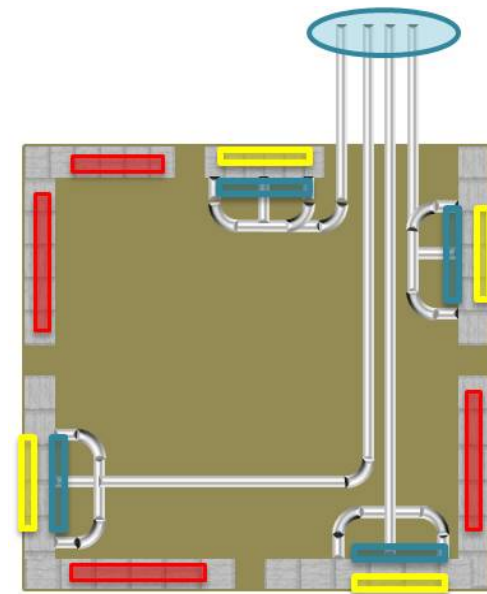
FOTO III.12 DATA LOGGERS



Intervalo de registro de 1 segundo a 9 horas definibles por usuario.

Los data loggers se utilizaron para el registro de tres zonas. La primera fue la medición de las condiciones al interior de los muros para cada orientación sin sistemas de aireación, la segunda fue la zona de eyección para cada una de las orientaciones y la tercera zona fue en las líneas principales del sistema de inyección.

-  **Zona I TOMAS PRINCIPALES DE INYECCIÓN.**
-  **Zona II RED DE BOQUILLAS INYECTORAS.**
-  **Zona III RED DE BOQUILLAS EYECTORAS.**
-  **Zona IV MUROS CERRADOS.**



ESQUEMA III. 21. PRIMERA ZONIFICACION. En el esquema se muestra la zonificación inicial con la que se trabajó en el sistema arquitectónico.

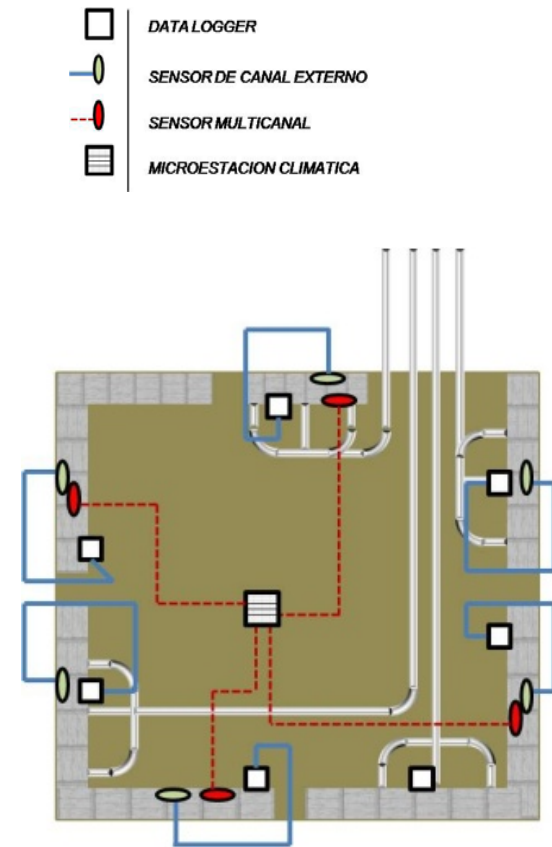


### Propuesta de localización del instrumental

Con el sistema arquitectónico experimental construido y con los instrumentos, se comenzó a determinar la mejor localización de los aparatos de acuerdo a su disponibilidad inmediata, para ello fue necesario dividir el sistema arquitectónico en cuatro zonas (ESQ. III. 21).

Al inicio solamente se contaba con 6 cables sensores para los data loggers, por lo que las pruebas *in situ* se principiaron registrando sólo condiciones externas de los muros sin sistema con orientación norte y sur (ZONA IV) por considerarse los menos significativos en cuanto a la variación de sus condiciones por asoleamiento (ESQ. III. 22).

En la segunda etapa, cuando se tuvo mayor número de instrumental, pudo proponerse la medición de los muros norte y sur de la zona IV, así como la medición para dos de las tomas de la zona I (ESQ. III. 23).



ESQUEMA III 22. PROPUESTA 1ª ETAPA INSTRUMENTAL. Croquis de localización de los instrumentos de medición.

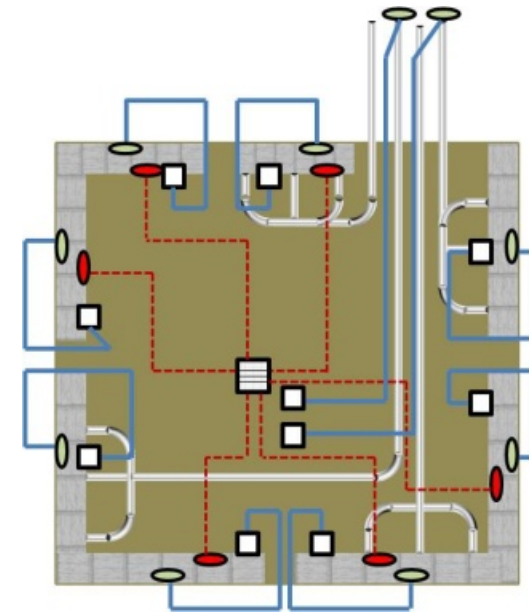


### Colocación del instrumental

De acuerdo a los principios teóricos en que se sustenta el proyecto la entrada de aire frío debía estar por debajo del nivel de aire caliente, por lo que se consideró que esa era la zona que debía registrarse para el análisis de su comportamiento. Al mismo tiempo debió considerarse la zona de salida de aire apropiada para colocar los sensores. En la colocación de los aparatos para ambas zonas se tuvo en cuenta que si los sensores se introducían en las boquillas, sobre todo las de eyección, las temperatura del aire podrían estar altamente influenciadas por la radiación del material del sistema. Por lo que tales mediciones se hicieron dentro del muro. No así en las boquillas de inyección principal, donde las propiedades de los materiales son diferentes así como su ubicación, por lo que introducir los sensores en las boquillas directamente no representaría una variación significativa. Sin embargo, en orden de obtener datos en condiciones similares para su correcta interpretación, los sensores se introdujeron en los muros y no en las boquillas.

### Trabajo de campo

El registro de los datos se programó para cada hora y es necesario trabajar in situ para descargar los datos en la PC. (FOTO III. 13).



ESQUEMA III 24. PROPUESTA 2ª ETAPA INSTRUMENTAL. Croquis de localización de los instrumentos de medición y los cables sensores de cuatro data loggers adicionales.



FOTO III. 13. TRABAJO DE CAMPO. El registro de los datos se programó para cada hora y es necesario trabajar in situ para descargar los datos en la PC en los intervalos en que no hay programado registro para evitar discontinuidad.







## **CAPITULO IV**

# **PRESENTACIÓN DE LOS DATOS Y RESULTADOS**

## CONTENIDO

<b>IV.1 Ruta de análisis .....</b>	<b>83</b>
<b>IV.2 Análisis estadístico .....</b>	<b>84</b>
<b>1ª FASE</b>	
<b>IV.2.1 Resultados por orientación y gráficos de la primera fase.....</b>	<b>84</b>
<b>Muro norte</b>	
Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro	
Comparación entre muros sin SAI y muros con SAI	
<b>Muro sur</b>	
Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro	
Comparación entre muros sin SAI y muros con SAI	
<b>Muro este</b>	
Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro comparación entre muros sin SAI y muros con SAI	
<b>Muro oeste</b>	
Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro comparación entre muros sin SAI y muros con SAI	
<b>Síntesis de los resultados de la primera fase.....</b>	<b>101</b>
<b>Validación de la hipótesis para los resultados de la primera fase.....</b>	<b>103</b>
<b>2ª FASE</b>	
<b>IV.2.2 Resultados por orientación y gráficos de la segunda fase</b>	
<b>IV.2.2.1 Diferencia del comportamiento higrotérmico del aire entre el punto de inyección y el punto de eyección.....</b>	
<b>Muro Norte sin SAI.</b>	
<b>Muro Norte con SAI</b>	
<b>Muro Sur sin SAI</b>	
<b>Muro Sur con SAI</b>	
<b>Muro Este sin SAI</b>	

Muro Este con SAI	
Muro Oeste sin SAI	
Muro Oeste con SAI	
Síntesis de los resultados de este apartado.....	107
<b>IV.2.2.2 Diferencia del comportamiento higrotérmico entre el muro sin SAI y el muro con SAI.....</b>	<b>109</b>
Muro Norte zona de inyección	
Muro Norte zona de eyección	
Muro Sur zona de inyección	
Muro Sur zona de eyección	
Muro Este zona de inyección	
Muro Este zona de eyección.	
Muro Oeste zona de inyección	
Muro Oeste zona de eyección	
Síntesis de los resultados de este apartado.....	112
<b>IV.2.2.3 Comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en al red principal y el punto de inyección...113</b>	
Muro Nort	
Muro Sur	
Muro Este	
Muro Oeste	
Síntesis de los resultados de este apartado.....	115
<b>IV.2.2.4 Comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en al red principal y el punto de eyección...115</b>	
Muro Norte	
Muro Sur	
Muro Este	
Muro Oeste	
Síntesis de los resultados de este apartado.....	117
<b>IV.2.2.5 Diferencia del microclima interno y el aire en la red principal .....</b>	<b>118</b>

<b>IV.2.2.6 Comportamiento higrotérmico entre el microclima y el aire de la zona de eyección .....</b>	<b>118</b>
Muro Norte	
Muro Sur	
Muro Este	
Muro Oeste	
<b>Síntesis de los resultados de este apartado.....</b>	<b>120</b>
<b>IV.2.2.7 Diferencia entre el clima exterior y el aire de la zona de eyección.....</b>	<b>120</b>
Muro Norte	
Muro Sur	
Muro Este	
Muro Oeste	
<b>Síntesis de los resultados de este apartado.....</b>	<b>122</b>
<b>IV.2.2.8 Diferencia del las condiciones higrotérmicas entre le microclima interior y el clima exterior.....</b>	<b>124</b>
<b>Síntesis de los resultados de esta etapa.....</b>	<b>124</b>
<b>IV.2.2.9 Influencia de la radiación en el aire eyectado.....</b>	<b>124</b>
Orientación Norte	
Orientación Sur	
Orientación Este	
Orientación Oeste	
<b>IV.2.2.10 Comportamiento del viento.....</b>	<b>126</b>
<b>IV.3 Análisis Psicrométrico .....</b>	<b>126</b>
<b>IV.3 Resumen de los resultados.....</b>	<b>130</b>

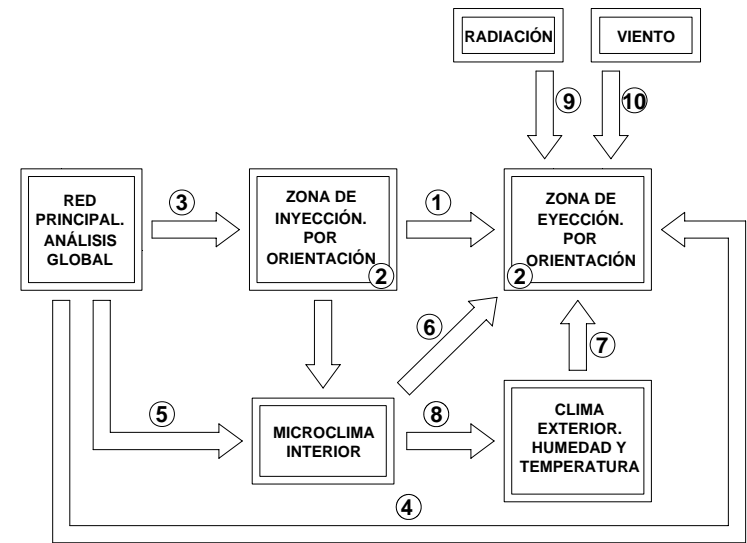


## IV.1 RUTA DE ANALISIS

Se registraron datos en dos fases, en la primera se obtuvieron resultados parciales, para verificar la eficiencia del SAI y hacerle modificaciones. Con dichas modificaciones, se presentan, en una segunda fase, los resultados finales.

La ruta de análisis (ESQ. IV.1) se llevó a cabo en diez pasos que constituyen los objetivos particulares de la investigación.

1. Determinar la diferencia del comportamiento higrotérmico del aire entre el punto de inyección y el punto de eyección en la cavidad del muro de block hueco como parámetro de validación para la hipótesis.
2. Determinar la diferencia del comportamiento higrotérmico del aire en los puntos de inyección y eyección, entre el muro con SAI y el muro sencillo para cada orientación.
3. Determinar, analizar y comparar el comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en la red principal y el punto de inyección.
4. Establecer y comparar la diferencia entre las condiciones higrotérmicas del aire captado en la red principal y el punto de eyección, para inferir el comportamiento del SAI.
5. Comparar las condiciones microclimáticas internas con las condiciones higrotérmicas del aire en la red principal como parámetro de validación del planteamiento hipotético.
6. Analizar y comparar las diferencias higrotérmicas microclimáticas con las condiciones del aire eyectado.
7. Determinar y comparar la diferencia entre el clima exterior, para temperatura y humedad relativa, y el aire extraído como indicadores para inferir la eficiencia del SAI.



ESQUEMA IV.1. RUTA DE ANALISIS



8. Comparar las condiciones higrotérmicas entre el microclima interior y el clima exterior y determinar si las diferencias entre ellos son mayores o menores que los rangos que se dan entre el aire inyectado y el aire expulsado.

9. Obtener y tipificar los patrones de comportamiento de la radiación, para inferir como influyen en el comportamiento del aire eyectado.

10. Obtener y tipificar los patrones de comportamiento del viento, para inferir cómo influyen en el comportamiento del SAI.

## **IV.2 ANALISIS ESTADISTICO**

### **1ª FASE**

#### **Resultados por orientación y gráficos de la primera fase**

Para la primera fase de resultados se consideraron los puntos 1 y 2 como suficientes para establecer parámetros de comparación entre la primera y la segunda etapa. El análisis del comportamiento higrotérmico del aire entre el punto de inyección y el punto de eyección en la cavidad del muro de bloc hueco, así como la determinación de la diferencia del comportamiento higrotérmico del aire en los puntos de inyección y eyección, entre el muro con SAI y el muro sencillo para cada orientación, permitieron observar la actuación del SAI independiente de las condiciones climatológicas como sol y viento, por lo que sus resultados fueron significativos para su modificación.



## Muro Norte

Resumen de comportamiento higrotérmico para los muros Norte.

### Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro

Tabla IV.1. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Norte sin SAI

NORTE MURO SIN SAI R-G	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 33.2°C, $R_{Tmax}=7.2^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.1 y 21°C, $R_{Tmin}=4.2^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.8 y 33.4°C, $R_{Tmax}=7.2^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.2 y 21.1°C, $R_{Tmin}=3.9^{\circ}C$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 32.3°C, $R_{Tmax}=6.3^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.5 y 21°C, $R_{Tmin}=3.5^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.9 y 32.6°C, $R_{Tmax}=6.7^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.8 y 20.9°C, $R_{Tmin}=3.1^{\circ}C$

Para el análisis comparativo se tipificaron los comportamientos diarios de temperatura y humedad. De esa información se obtuvieron las tablas que presentan los rangos diferenciales registrados por zona y por horario. Estas tablas permitieron identificar qué zona y horario fueron más estables

Para la orientación Norte, la mayor estabilidad, es decir cuando los rangos de temperatura fueron menores, se dio en el horario vespertino, principalmente en las temperaturas mínimas. En la tabla IV.1 se presenta el comportamiento térmico comparativo de los muros sin SAI en ambos horarios.

En el muro sin SAI, se presentó la mayor estabilidad en los registros de humedad relativa máxima para ambos horarios. En la tabla IV.2 se muestra el comportamiento de humedad relativa comparativo de los muros sin SAI en ambos horarios. De manera general los rangos menores se dieron en el horario nocturno principalmente en la zona de inyección.

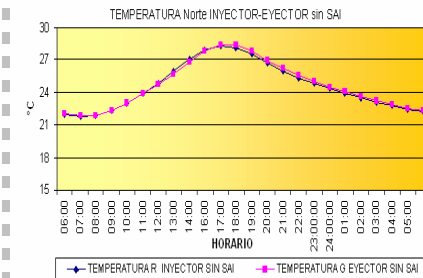


Tabla IV.2. Comportamiento de la HR en los muros con orientación Norte sin SAI

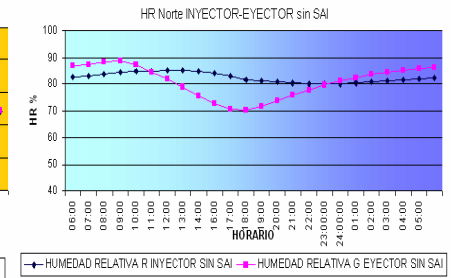
NORTE MURO CON SAI K-H	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas de 100%, $R_{H-Rmax}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 63 y 79%, $R_{H-Rmin}=16\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 94 y 97%, $R_{H-Rmax}=3\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 53 y 80%, $R_{H-Rmin}=27\%$
		ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas de 100, $R_{H-Rmax}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 69 y 75%, $R_{H-Rmin}=6\%$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 95 y 97%, $R_{H-Rmax}=2\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 55 y 74%, $R_{H-Rmin}=19\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	
		ZONA DE INYECCIÓN	

Para el muro con SAI puede observarse que la mayor estabilidad, es decir cuando los rangos de temperatura son menores, se dio en el horario vespertino, principalmente en las temperaturas mínimas. En la tabla IV.3 se presenta el comportamiento térmico comparativo de los muros con SAI en ambos horarios.

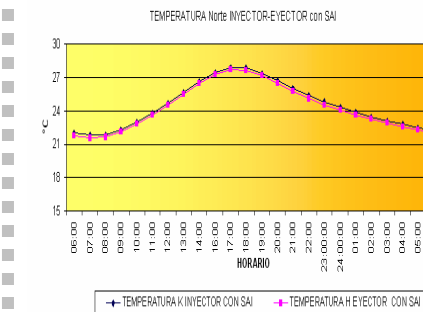
En el muro con SAI, para esta orientación las humedades relativas fueron del orden del 100% y no hubo diferencia significativa entre las zonas y horarios, en tanto que para las humedades relativas mínimas, los rangos menores se presentaron en el horario nocturno principalmente para la zona de inyección. En la tabla IV.4 se presenta el comportamiento de humedad relativa comparativo de los muros con SAI en ambos horarios.



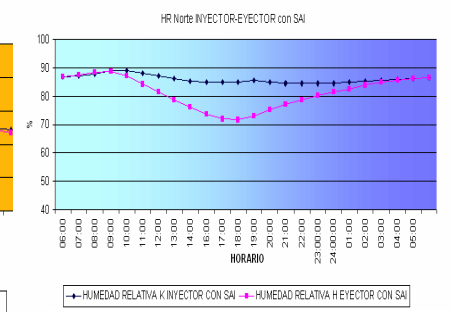
GRAFICA IV.1 La temperatura del aire para el horario matutino, fue similar del punto de inyección a la zona de eyección, presentándose más baja en la zona de eyección entre las 13:00 y las 15:00 hrs. Para el horario nocturno, fue casi la misma y aumenta de la zona de inyección a la zona de eyección de las 19:00 a las 24:00 hrs.



GRÁFICA IV.2 La HR para el horario matutino, se presentó con un aumento en las primeras horas de la mañana del punto de inyección al punto de eyección, y disminuyó en el punto de eyección hasta igualarse a las 12hrs con la humedad relativa del punto de inyección, hacia la tarde disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección. Para el horario nocturno, se presentó con una disminución de la zona de inyección a la zona de eyección en la tarde, se igualó a humedad relativa hacia la media noche y aumento en la zona de eyección hacia el amanecer.



GRÁFICA IV.3 La temperatura del aire para el horario matutino, disminuyó del punto de entrada a la zona de eyección. Para el horario nocturno, disminuyó del punto de inyección al punto de eyección.



GRÁFICA IV.4 La HR para el horario matutino, se igualó en las primeras horas del día entre la zona de inyección y la zona de eyección, y disminuyó hacia la tarde de la zona de eyección a la zona de inyección. Para el horario nocturno, al caer la noche se presentó menor en la zona de eyección que en la de inyección, y se igualó hacia el amanecer.



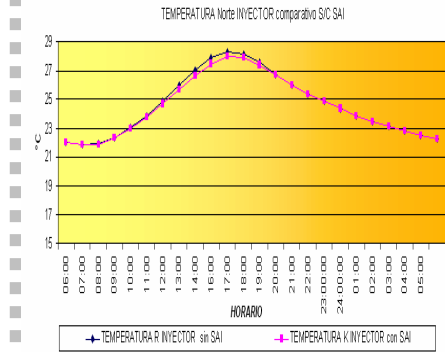


Tabla IV.3. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Norte con SAI

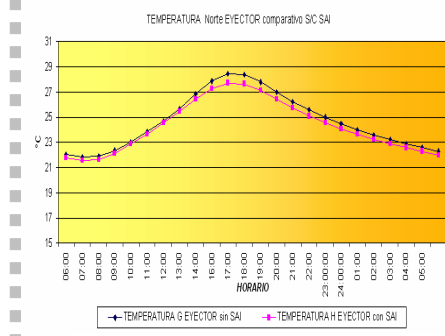
NORTE MURO CONSALKAH	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 32.8°C, $R_{Tmax}=7.2^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.1 y 21°C, $R_{Tmin}=4^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 32.4°C, $R_{Tmax}=6.8^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.8 y 20.8°C, $R_{Tmin}=4^{\circ}C$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 31.9°C, $R_{Tmax}=5.9^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.5 y 21°C, $R_{Tmin}=3.5^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.8 y 31.7°C, $R_{Tmax}=5.9^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.4 y 20.6°C, $R_{Tmin}=5.2^{\circ}C$

Tabla IV.4. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Norte con SAI

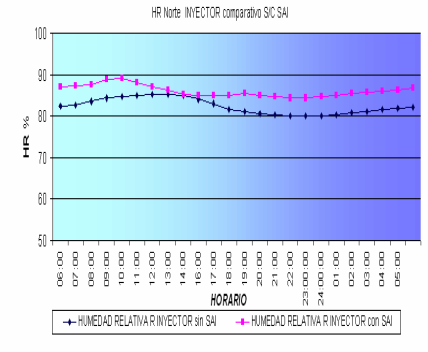
NORTE MURO SIN SAI P-G	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 97 y 98%, $R_{Hmax}=1\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 69 y 75%, $R_{Hmin}=6\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 96 y 97%, $R_{Hmax}=1\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 51 y 80%, $R_{Hmin}=29\%$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas de 97, $R_{Hmax}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 66 y 69%, $R_{Hmin}=3\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 96 y 97%, $R_{Hmax}=1\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 53 y 73%, $R_{Hmin}=20\%$



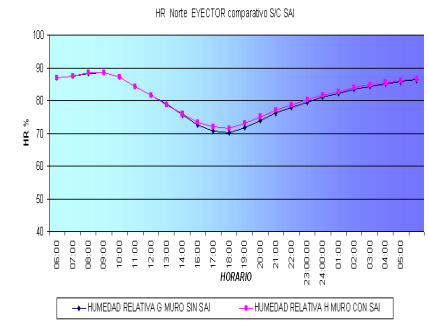
GRÁFICA IV.5 La temperatura del aire para el horario matutino, en la zona de inyección, fue menor en el muro con SAI. Para el horario nocturno, en la zona de inyección, fue similar en el muro con SAI y el muro sin SAI.



GRÁFICA IV.7 La temperatura del aire para el horario matutino, en la zona de eyección fue menor en el muro con SAI que en el muro sin SAI. Para el horario nocturno, en la zona de eyección, fue menor en el muro con SAI que en el muro sin SAI.



GRÁFICA IV.6 La HR del aire para el horario matutino, en la zona de inyección, fue mayor en el muro con SAI, y con una similitud entre las 14:00 y las 15:00 hrs. Para el horario nocturno, en la zona de inyección, fue mayor en el muro con SAI, sin embargo ambos muros presentan el mismo patrón.



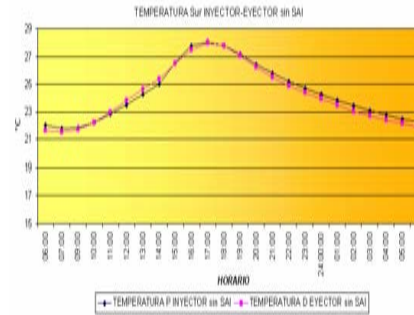
GRÁFICA IV.8 La HR del aire para el horario matutino, en la zona de eyección, fue similar en el muro con SAI y en el muro sin SAI. Se observó, a diferencia de la zona de inyección, un patrón similar entre ambos. Para el horario nocturno, en la zona de eyección, fue mayor en el muro con SAI en las primeras horas de la noche, igualándose hacia la madrugada. Se observó un patrón similar entre ambos muros..



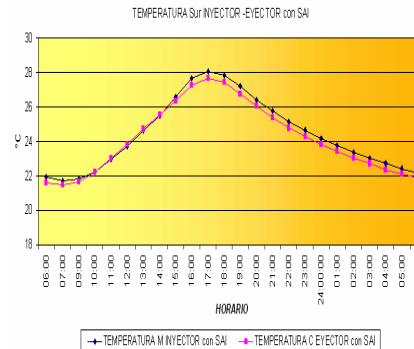
### Comparación entre muros sin SAI y muros con SAI

Comparando los resultados de temperatura entre las tablas del muro sin SAI (TAB. IV.1) y del muro con SAI (TAB. IV.3), puede verse que el rango menor se encontró en la temperatura mínima del muro sin SAI en el horario nocturno, sin embargo la mayoría de los rangos menores se localizaron en el muro con SAI. En las gráficas IV.1 y IV.3, puede apreciarse el comportamiento térmico del aire en los muros durante un día típico. En tanto que en las graficas IV.5 y IV.7 puede compararse el comportamiento de la temperatura del aire del sistema inyector y del sistema eyector entre los muros sin SAI y los muros con SAI.

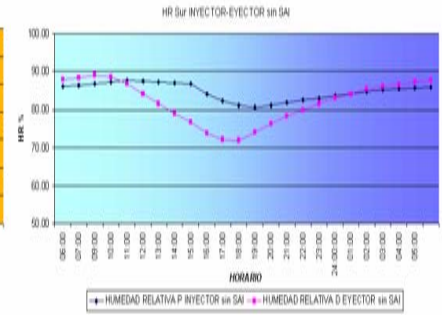
Comparando los resultados de humedad relativa entre las tablas del muro sin SAI (TAB. IV.2) y del muro con SAI (TAB. IV.4), puede verse que la mayoría de los rangos menores se encontraron en el muro sin SAI, aunque las diferencias para ambos muros en humedad relativa máxima fueron poco significativas, en tanto que los rangos de humedad relativa mínima fueron menores en el muro sin SAI. En las gráficas IV.2 y IV.4, puede apreciarse el comportamiento de humedad relativa del aire en los muros durante un día típico. En tanto que en las graficas IV.6 y IV.8 puede compararse el comportamiento de la humedad relativa del aire del sistema inyector y del sistema eyector entre los muros sin SAI y los muros con SAI.



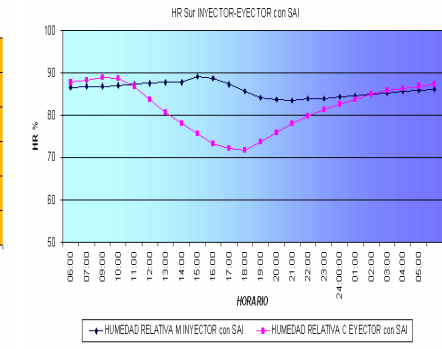
GRÁFICA IV.9 La temperatura del aire en el horario matutino, disminuyó en las primeras horas de la mañana de la zona de inyección a la zona de eyección, y aumentó de las 11:00 a las 15:00 hrs. En horario nocturno, disminuyó a lo largo de la noche del punto de inyección al punto de eyección.



GRÁFICA IV.11 La temperatura del aire en horario matutino, disminuyó en las primeras horas de la tarde y del día de la zona de inyección a la zona de eyección, y aumento hacia el medio día. En horario nocturno disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección. Se observó un patrón similar en ambas zonas.



GRÁFICA IV.10 La HR en el horario matutino, aumentó del punto de inyección al punto de eyección en las primeras horas de la mañana, igualándose en ambas zonas entre 10:00 y 11:00 hrs, y disminuyendo hacia la zona de eyección a partir de las 11:00 hrs. .



GRAFICA IV.12 La HR en el horario matutino, aumentó en las primeras horas del día de la zona de inyección a la zona de eyección, hacia las 09:00 hrs disminuyó en las zonas de eyección, hasta ser menor a partir de las 10:00 hrs. Se observó un patrón disímil entre ambas zonas. En el horario nocturno, disminuyo de la zona de inyección a la zona de eyección, a las 13:00 hrs se igualaron y aumentaron hacia las primeras horas de la mañana. Los patrones fueron disímiles entre las áreas.



### Muro Sur

Resumen de comportamiento higrotérmico para los muros sur.

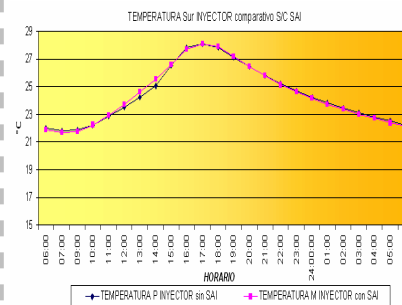
### Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro

Tabla IV.5. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Sur sin SAI

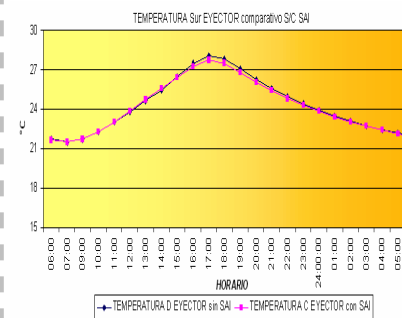
SUR MURO SIN SAI P-D	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 33.2°C, $R_{Tmax}=7.6^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.1 y 21°C, $R_{Tmin}=4.2^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 32.7°C, $R_{Tmax}=7.1^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.7 y 20.8°C, $R_{Tmin}=4.1^{\circ}C$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 31.9°C, $R_{Tmax}=5.9^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.9 y 20.6°C, $R_{Tmin}=2.7^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.7 y 31.3°C, $R_{Tmax}=5.6^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.3 y 20.6°C, $R_{Tmin}=3.3^{\circ}C$

En la orientación Sur, en la temperatura, puede observarse que la mayor estabilidad, es decir cuando los rangos de temperatura fueron menores, se dio en el horario vespertino, principalmente en las temperaturas mínimas. La tabla IV.5 presenta el comportamiento térmico comparativo de los muros sin SAI en ambos horarios.

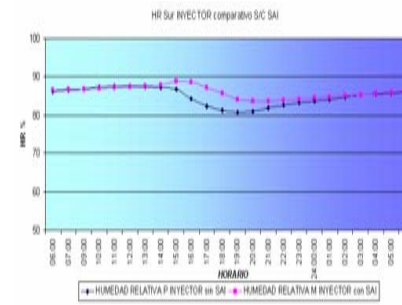
Tabla IV.6. Comportamiento de la humedad relativa en los muros con orientación Sur sin SAI



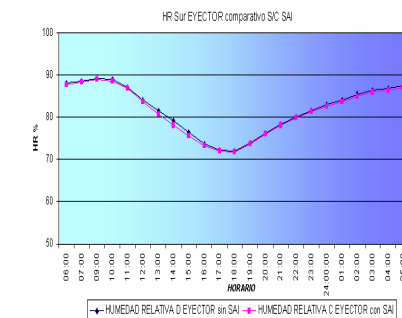
GRÁFICA IV.13 La temperatura del aire en horario matutino, en la zona de inyección, fue menor en las primeras horas de la tarde y del día, en el muro con SAI, y hacia el medio día es mayor que en el muro sin SAI. En el horario nocturno, en la zona de inyección, fue menor en el muro con SAI que en el muro sin SAI. Se observó un patrón similar en ambos muros.



GRÁFICA IV.15 La temperatura del aire en horario matutino, fue similar durante el día en ambos muros para la zona de eyección, y fue menor hacia la tarde en el muro con SAI. En el horario nocturno, en la zona de eyección, fue menor en el muro con SAI durante las primeras horas de la tarde y se igualaron hacia la media noche, ambos muros presentaron patrones similares.



GRÁFICA IV.14 La HR en el horario matutino, en la zona de inyección, fue menor durante las primeras horas del día en el muro con SAI, y aumento a partir de las 12:00 hrs hasta ser mayor que en el muro sin SAI. En el horario nocturno, en la zona de inyección, fue mayor en el muro con SAI, presentándose iguales a partir de las 14:00 hrs en ambos muros.



GRÁFICA IV.16 La HR del aire para el horario matutino, en la zona de eyección, fue menor en el muro con SAI. Ambos muros presentaron patrones similares. Para el horario nocturno, en la zona de eyección, fue menor en el muro con SAI. Ambos muros presentaron patrones similares.



SUR MURO SIN SAI P-D	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas 100%, $R_{Hmax}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 61 y 75%, $R_{Hmin}=14\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 96 y 97%, $R_{Tmax}=1\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 52 y 79%, $R_{Tmin}=27\%$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas de 100%, $R_{Hmax}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 60 y 72%, $R_{Hmin}=12\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 96 y 97%, $R_{Hmax}=1\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 54 y 74%, $R_{Hmin}=20\%$

En cuanto a la humedad relativa, puede observarse que la mayor estabilidad, se dio en las temperaturas máximas para ambos horarios con humedades relativas que alcanzaron hasta el 100%. De manera general los rangos menores se dieron en el horario nocturno principalmente en la zona de inyección. En la tabla IV.6 se presenta el comportamiento de humedad relativa comparativo de los muros sin SAI en ambos horarios.

Para la humedad relativa la mayor estabilidad, es decir cuando los rangos de temperatura fueron menores, se dio en el horario vespertino. Los menores rangos de temperatura se dieron siempre en los índices de temperatura mínima. En la tabla IV.7 se presenta el comportamiento térmico comparativo de los muros con SAI en ambos horarios.



Tabla IV.7. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Sur con SAI

SUR MURO CON SAI M-C	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 32.8°C, $R_{Tmax}=6.8^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.8 y 21°C, $R_{Tmin}=4.2^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 32.1°C, $R_{Tmax}=6.5^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 20.8 y 25.6°C, $R_{Tmin}=4.8^{\circ}C$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 31.5°C, $R_{Tmax}=5.5^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 20.6 y 26°C, $R_{Tmin}=5.4^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.8 y 30.9°C, $R_{Tmax}=5.1^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.2 y 20.5°C, $R_{Tmin}=3.3^{\circ}C$

De la humedad relativa puede observarse que fueron hasta del 100% y no hubo diferencia significativa entre las zonas y horarios, en tanto que para las humedades relativas mínimas, los rangos menores se presentaron principalmente para la zona de inyección para ambos horarios. La tabla IV.8 presenta el comportamiento de humedad relativa comparativo de los muros con SAI en ambos horarios.



Tabla IV.8. Comportamiento de la humedad relativa en los muros con orientación Sur con SAI

SUR MURO CON SAI M-C	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	<p>Humedades relativas máximas 100%,  <math>R_{Hmax}=0\%</math>            Humedades relativas mínimas que oscilan entre 71 y 79%,  <math>R_{Hmin}=8\%</math></p>
		ZONA DE EYECCIÓN	<p>Humedades relativas máximas que oscilan entre 95 y 96%,  <math>R_{Hmax}=1\%</math>            Humedades relativas mínimas que oscilan entre 55 y 80%,  <math>R_{Hmin}=25\%</math></p>
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	<p>Humedades relativas máximas de 100%,  <math>R_{Hmax}=0\%</math>            Humedades relativas mínimas que oscilan entre 66 y 73%,  <math>R_{Hmin}=7\%</math></p>
		ZONA DE EYECCIÓN	<p>Humedades relativas máximas que oscilan entre 95 y 96%,  <math>R_{Hmax}=1\%</math>            Humedades relativas mínimas que oscilan entre 75 y 95%,  <math>R_{Hmin}=20\%</math></p>

### Comparación entre muros sin SAI y muros con SAI

Comparando los resultados de temperatura entre las tablas del muro sin SAI (TAB. IV.5) y del muro con SAI (TAB. IV.7), puede verse que el rango menor se encontró en la temperatura mínima del muro sin SAI para el horario nocturno en la zona de inyección, sin embargo la mayoría de los rangos menores se localizaron en el muro con SAI, sobre todo para las rangos de temperatura máxima. En las gráficas IV.9 y IV.11 puede apreciarse el comportamiento térmico del aire en los muros durante un día típico. En tanto que en las graficas IV.13 y IV.15 puede compararse el comportamiento de la temperatura del aire del sistema inyector y del sistema eyector entre los muros sin SAI y los muros con SAI.



Comparando los resultados de humedad relativa entre las tablas del muro sin SAI (TAB.IV.6) y del muro con SAI (TAB. IV.8), puede verse que la mayoría de los rangos menores se encontraron en el muro con SAI tanto para los índices de máxima como mínima, aunque las diferencias para ambos muros en humedad relativa máxima fueron poco significativas en los dos horarios y ambas zonas. En las gráficas IV.10 y IV.12, puede apreciarse el comportamiento de humedad relativa del aire en los muros durante un día típico. En tanto que en las gráficas IV.14 y IV.16 puede compararse el comportamiento de la humedad relativa del aire del sistema inyector y del sistema eyector entre los muros sin SAI y los muros con SAI.

### Muro Este

Resumen de comportamiento higrotérmico para los muros Este.

#### Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro

Tabla IV.9. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Este sin SAI

ESTE MURO SIN SAI 0-B	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 31.1°C, $R_{Tmax}=5.5^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.1 y 21°C, $R_{Tmin}=2.9^{\circ}\text{C}$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.4 y 31.4°C, $R_{Tmax}=6^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.7 y 20.5°C, $R_{Tmin}=3.8^{\circ}\text{C}$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 30.7°C, $R_{Tmax}=4.7^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.5 y 20.6°C, $R_{Tmin}=3.1^{\circ}\text{C}$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 3.8°C, $R_{Tmax}=5.2^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.3 y 20.3°C, $R_{Tmin}=3^{\circ}\text{C}$

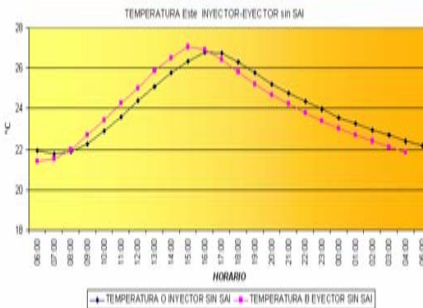


Para la temperatura en esta orientación puede observarse que los rangos menores se encontraron en los registros de las temperaturas mínimas de ambos horarios tanto en la zona de inyección como en la de eyección. Sin embargo la diferencia de rangos en esta orientación fue poco significativa entre zonas y entre horarios. La tabla IV.9 presenta el comportamiento de la temperatura en el muro sin SAI para ambos horarios.

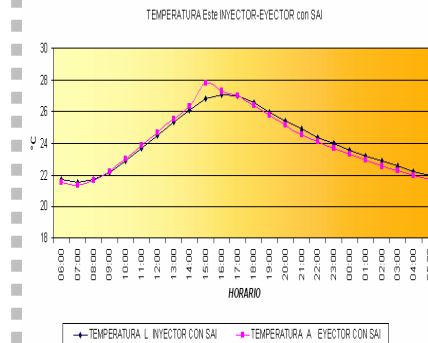
Tabla IV.10. Comportamiento de la humedad relativa en los muros con orientación Este sin SAI

ESTE MURO SINSAI 0-8	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas 100%, $R_{H\text{máx}}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 75 y 82%, $R_{H\text{mín}}=7\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 95 y 97%, $R_{H\text{máx}}=2\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 56 y 81%, $R_{H\text{mín}}=25\%$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas de 100%, $R_{H\text{máx}}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 77 y 79%, $R_{H\text{mín}}=12\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 96 y 97%, $R_{H\text{máx}}=1\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 58 y 75%, $R_{H\text{mín}}=17\%$

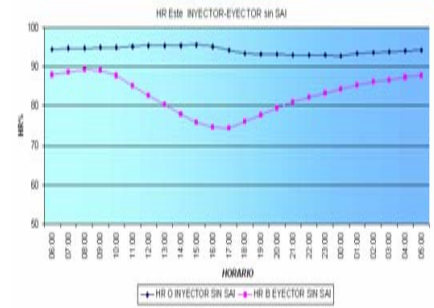
En el muro sin SAI de esta orientación, nuevamente las humedades relativas máximas tipificadas fueron muy altas y los rangos de humedad entre las zonas y los horarios fueron poco significativos, siendo muy bajos. La tabla IV.10 presenta el comportamiento de la humedad en el muro sin SAI. Los rangos más elevados se presentaron en las temperaturas mínimas sobre todo para la zona de eyección de ambos horarios.



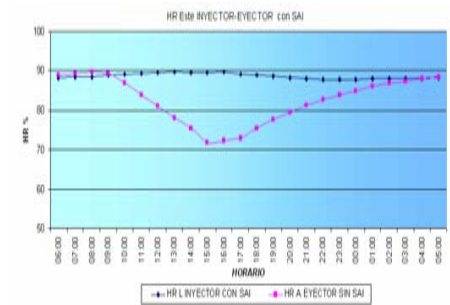
GRÁFICA IV.17 La temperatura del aire en horario matutino, disminuyó en las primeras horas de la mañana de la zona de inyección a la zona de eyección, y aumentó en la misma dirección al atardecer. En el horario nocturno, fue similar hasta las 23:00 hrs, y después comienza a disminuir de la zona de inyección a la zona de eyección.



GRÁFICA IV.19 La temperatura del aire en horario matutino, aumentó de la zona de inyección a la zona de eyección. Presentó en ambas zonas patrones similares. En el horario nocturno, disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección.



GRÁFICA IV.18 La HR en el horario matutino, disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección, y aumentó en la misma dirección al atardecer. En el horario nocturno, disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección.



GRÁFICA IV.20 La HR en el horario matutino, aumentó de la zona de inyección a la zona de eyección, y a partir de las 10:00 hrs disminuyó en ese sentido. En el horario nocturno, disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección, igualándose hacia las 4:00 hrs.



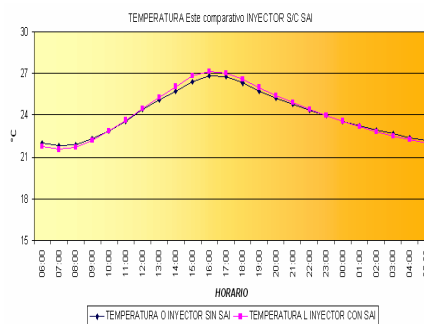


Tabla IV.11. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Este con SAI

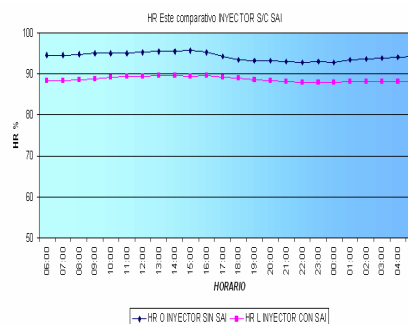
ESTEMURO CON SAI 0-B	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 31.5°C, $R_{Tmax}=5.9^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.8 y 21°C, $R_{Tmin}=4.2^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 33.3°C, $R_{Tmax}=7.7^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.4 y 20.7°C, $R_{Tmin}=4.3^{\circ}C$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 30.7°C, $R_{Tmax}=5.1^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.1 y 20.6°C, $R_{Tmin}=3.5^{\circ}C$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.7 y 30.3°C, $R_{Tmax}=4.6^{\circ}C$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.9 y 20.2°C, $R_{Tmin}=3.3^{\circ}C$

Los rangos de temperatura mínima fueron menores en ambos horarios para las dos zonas, y los rangos mas bajos se presentaron en el horario nocturno. La tabla IV.11 muestra el comportamiento de la temperatura entre las zonas de inyección y eyección, así como entre el horario matutino y el horario nocturno.

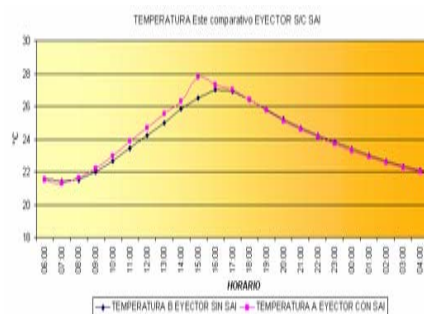
El muro Este con SAI registró humedades de hasta 100% en las máximas y con rangos nulos o muy bajos, en tanto que los rangos mayores se presentaron en los registros de humedad relativa mínima para la zona de eyección en ambos horarios, pero siendo más alto en el horario matutino. La tabla IV.12 muestra la diferencia del comportamiento de la humedad relativa entre las zonas y horarios del muro con SAI.



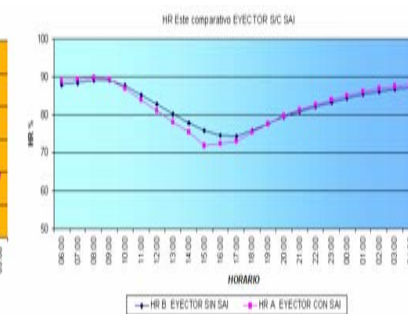
GRÁFICA IV.21 La temperatura en el horario matutino, en la zona de inyección, fue menor las primeras horas del día, en el muro con SAI que en el muro sin SAI, fue similar hacia las 12:00 hrs y fue mayor a partir de las 13:00 hrs en el muro con SAI. En el horario nocturno, en la zona de inyección, fue mayor hacia las 18:00 hrs, en el muro con SAI que en el muro sin SAI, fueron iguales hacia las 24:00hrs y fue menor desde las 4:00 hrs en el muro con SAI.



GRÁFICA IV.22 La HR en el horario matutino, fue menor en el muro con SAI, en la zona de inyección. En el horario nocturno, fue menor en el muro con SAI, en la zona de inyección.



GRÁFICA IV.23 La temperatura en el horario matutino, fue mayor en el muro con SAI que en el muro sin SAI en la zona de eyección. En el horario nocturno fue menor en el muro con SAI que en el muro sin SAI, en la zona de eyección.



GRÁFICA IV.24 La HR en el horario matutino, en la zona de eyección, fue mayor en el muro con SAI en las primeras horas de la mañana y es menor a partir de las 10:00 hrs. En el horario nocturno, en la zona de eyección, fue mayor en el muro con SAI, y es menor de 18:00 a 20:00 hrs.



Tabla IV.12. Comportamiento de la humedad relativa en los muros con orientación Este con SAI

ESTE MURO CON SAI 0-B	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN Humedades relativas máximas que oscilan entre 99 y 100%, $R_{Hmax}=1\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 72 y 78%, $R_{Hmin}=6\%$
		ZONA DE EYECCIÓN Humedades relativas máximas que oscilan entre 95 y 97%, $R_{Hmax}=2\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 51 y 80%, $R_{Hmin}=29\%$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN Humedades relativas máximas de 100%, $R_{Hmax}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 74 y 77%, $R_{Hmin}=3\%$
		ZONA DE EYECCIÓN Humedades relativas máximas que oscilan entre 95 y 97%, $R_{Hmax}=2\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 57 y 77%, $R_{Hmin}=20\%$

Comparando los resultados de temperatura entre las tablas del muro sin SAI (TAB. IV.9) y del muro con SAI (TAB. IV.11), puede verse que los rangos menores se encontraron en el muro sin SAI, casi para todos los registros en ambas zonas y horarios. Los rangos mas bajos se encontraron en los registro de las temperaturas mínimas. En las gráficas IV.17 y IV.19 puede apreciarse el comportamiento térmico del aire en los muros durante un día típico. En tanto que en las graficas IV.21 y IV.23 puede compararse el comportamiento de la temperatura del aire del sistema inyector y del sistema eyector entre los muros sin SAI y los muros con SAI.

Comparando los resultados de humedad relativa entre las tablas del muro sin SAI (TAB. IV.10) y del muro con SAI (TAB. IV.12), puede verse que las diferencias para ambos muros en humedad relativa máxima fueron poco significativas en los dos horarios y en ambas zonas. En las gráficas IV.18 y IV.20, puede apreciarse el comportamiento de humedad relativa del aire en los muros durante un día típico. En tanto que en las gráficas IV.22 y IV.24 puede



compararse el comportamiento de la humedad relativa del aire del sistema inyector y del sistema eyector entre los muros sin SAI y los muros con SAI.

### **Muro Oeste**

Resumen de comportamiento higrotérmico para los muros Oeste.

#### **Comparativo entre las zonas de inyección y eyección del muro**

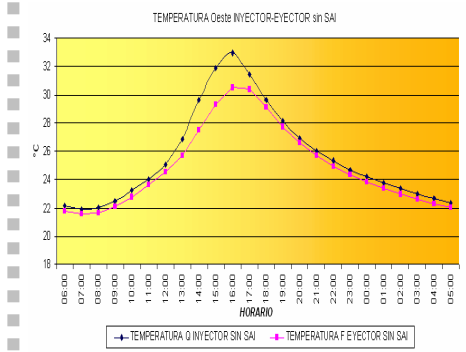
El comportamiento de la temperatura para cada zona y cada horario en el muro sin SAI se muestra en la tabla IV.13, puede observarse que los rangos menores de temperatura se dieron en el horario nocturno tanto para la zona de inyección como para la zona de eyección.

Para la humedad relativa en el muro sin SAI, puede observarse en la tabla IV.14 que los rangos de la humedad máxima fueron casi nulos, en tanto que los rangos en la humedad mínima fueron los más altos en ésta orientación, en comparación con las restantes. Es en el horario nocturno donde puede apreciarse que los rangos fueron menores que los del horario matutino tanto para la zona de inyección como para la zona de eyección.

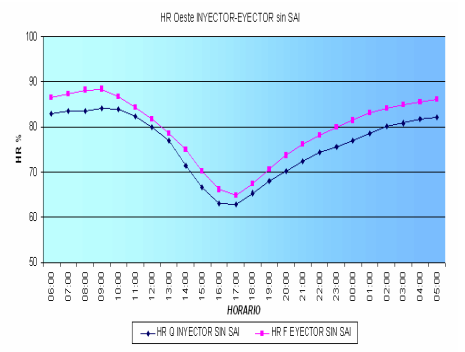


Tabla IV.13. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Oeste sin SAI

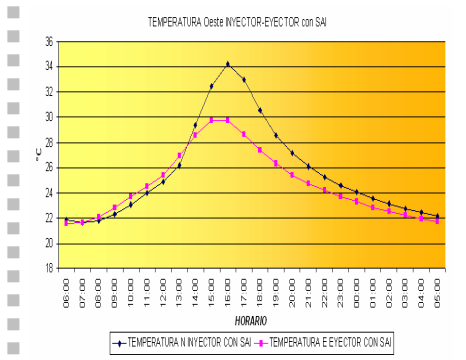
ESTE MURO SIN SAI Q-F	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 40.6°C, $R_{Tmax}=14.6^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.1 y 21.7°C, $R_{Tmin}=4.6^{\circ}\text{C}$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.5 y 36.8°C, $R_{Tmax}=11.3^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.8 y 21°C, $R_{Tmin}=4.2^{\circ}\text{C}$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 34.9°C, $R_{Tmax}=8.9^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.9 y 21°C, $R_{Tmin}=3.1^{\circ}\text{C}$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.7 y 34.7°C, $R_{Tmax}=9^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.4 y 20.7°C, $R_{Tmin}=3.3^{\circ}\text{C}$



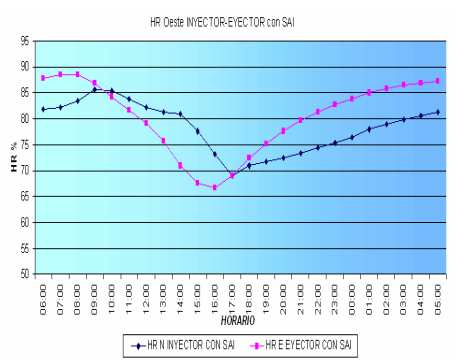
GRÁFICA IV.25 La temperatura del aire en horario matutino, disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección. En el horario nocturno, disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección.



GRÁFICA IV.26 La HR en el horario matutino, aumentó de la zona de inyección a la zona de eyección. En el horario nocturno, aumentó de la zona de inyección a la zona de eyección.



GRÁFICA IV.27 La temperatura en el muro con SAI aumento de la zona de inyección a la zona de eyección, se igualó hacia las 14:00 hrs, y después disminuyó. En el horario nocturno, disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección.



GRÁFICA IV.28 La HR en el horario matutino, aumentó de la zona de inyección a la zona de eyección y disminuyó a partir de las 10:00 hrs. En el horario nocturno, aumentó de la zona de inyección a la zona de eyección.



Tabla IV.14 Comportamiento de la humedad relativa en los muros con orientación Oeste sin SAI

OESTE MURO SIN SAI Q-F	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 98 y 99%, $R_{Hmax}=0\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 33 y 72%, $R_{Hmin}=39\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 97 y 99%, $R_{Hmax}=2\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 43 y 79%, $R_{Hmin}=39\%$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas oscilan entre 98 y 99%, $R_{Hmax}=1\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 40 y 68%, $R_{Hmin}=28\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 97 y 99%, $R_{Hmax}=2\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 46 y 71%, $R_{Hmin}=25\%$

Tabla IV.15. Comportamiento de la temperatura en los muros con orientación Oeste con SAI

OESTE MURO CON SAI NE	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 43.4°C, $R_{Tmax}=17.8^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.8 y 21.7°C, $R_{Tmin}=4.9^{\circ}\text{C}$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.5 y 35.8°C, $R_{Tmax}=10.3^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 16.8 y 21°C, $R_{Tmin}=4.2^{\circ}\text{C}$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 26 y 37.4°C, $R_{Tmax}=11.4^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.5 y 21°C, $R_{Tmin}=3.5^{\circ}\text{C}$
		ZONA DE EYECCIÓN	Temperaturas máximas que oscilan entre 25.6 y 33.9°C, $R_{Tmax}=8.3^{\circ}\text{C}$ Temperaturas mínimas que oscilan entre 17.1 y 20.4°C, $R_{Tmin}=3.3^{\circ}\text{C}$

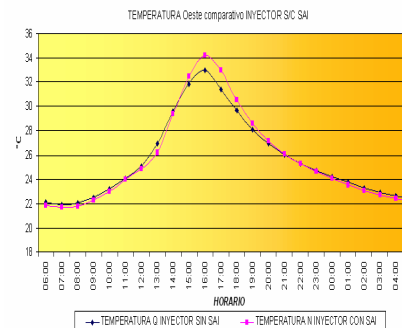


Tabla IV.16 Comportamiento de la humedad relativa en los muros con orientación Oeste con SAI

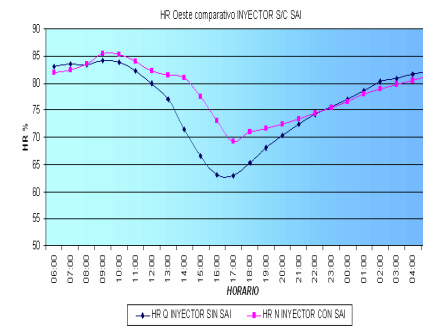
OESTE MURO CON SAI N-E	HORARIO MATUTINO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas de 100%, $R_{Hmax}=100\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 40 y 72%, $R_{Hmin}=32\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 96 y 98%, $R_{Hmax}=97\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 43 y 80%, $R_{Hmin}=37\%$
	HORARIO NOCTURNO	ZONA DE INYECCIÓN	Humedades relativas máximas de 100%, $R_{Hmax}=100\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 42 y 63%, $R_{Hmin}=21\%$
		ZONA DE EYECCIÓN	Humedades relativas máximas que oscilan entre 97 y 98%, $R_{Hmax}=98\%$ Humedades relativas mínimas que oscilan entre 51 y 74%, $R_{Hmin}=23\%$

El comportamiento de la temperatura en el muro con SAI, puede apreciarse en la tabla IV.15, en donde se observa que los rangos menores se dieron en las temperaturas mínimas para el horario nocturno predominantemente.

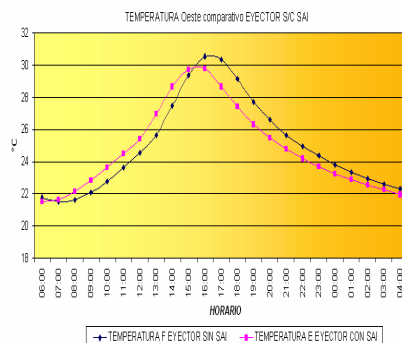
La diferencia entre el comportamiento de la humedad relativa de la zona de inyección y de eyección entre el horario matutino y nocturno para el muro con SAI se muestra en la tabla IV.16, puede observarse que las humedades máximas fueron casi del 100% con rangos muy bajos, en tanto que las humedades mínimas presentaron los rangos más bajos para el horario nocturno tanto en la zona de inyección como la zona de eyección.



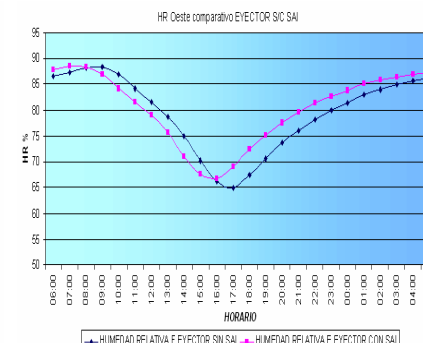
GRÁFICA IV.29 La temperatura del aire en horario matutino, en la zona de inyección, fue menor en el muro con SAI hasta las 15:00 hrs, hacia el atardecer es mayor en el muro con SAI. En el horario nocturno, en la zona de inyección, fue mayor en el muro con SAI de 18:00 a 20:00 hrs, y fue menor a partir de las 23:00 hrs.



GRÁFICA IV.30 La HR en el horario matutino, en la zona de inyección, fue menor en el muro con SAI al amanecer, y fue mayor en el muro con SAI a partir de las 9:00 hrs. Para el horario nocturno, en la zona de inyección, fue mayor en el muro con SAI, hasta las 24:00 hrs y después fue menor.



GRÁFICA IV.31 La temperatura en el horario matutino, en la zona de eyección, fue mayor en el muro con SAI, hasta las 16:00 hrs. Para el horario nocturno, en la zona de eyección fue menor en el muro con SAI.



GRÁFICA IV.32 La HR en el horario matutino, en la zona de eyección, fue mayor en el muro con SAI en las primeras horas de la mañana, a partir de 8:00 hrs fue menor en el muro con SAI, hasta las 17:00 hrs cuando fue mayor nuevamente. En el horario nocturno, en la zona de eyección, fue mayor en el muro con SAI.



Comparando los resultados de temperatura entre las tablas del muro sin SAI (TAB. IV.13) y del muro con SAI (TAB. IV.15), puede verse que los rangos menores se encontraron en el muro sin SAI, casi para todos los registros en ambas zonas y horarios. Los rangos más bajos se encontraron en los registro de las temperaturas mínimas. En las gráficas IV.25 y IV.27 puede apreciarse el comportamiento térmico del aire en los muros durante un día típico. En tanto que en las gráficas IV.29 y IV.31 puede compararse el comportamiento de la temperatura del aire del sistema inyector y del sistema eyector entre los muros sin SAI y los muros con SAI.

Comparando los resultados de humedad relativa entre las tablas del muro sin SAI (TAB. IV.14) y del muro con SAI (TAB. IV.16), puede verse que las diferencias para ambos muros en humedad relativa máxima fueron poco significativas en los dos horarios y en ambas zonas. Los rangos para la humedad mínima fueron menores en los muros con SAI para el horario nocturno. En las gráficas IV.26 y IV.28 puede apreciarse el comportamiento de humedad relativa del aire en los muros durante un día típico. En tanto que en las gráficas IV.30 y IV.32 puede compararse el comportamiento de la humedad relativa del aire del sistema inyector y del sistema eyector entre los muros sin SAI y los muros con SAI.

### **Síntesis de los resultados de la primera fase**

Los resultados presentados comprenden los puntos 1 y 2 de la estructura de análisis que corresponden a la determinación de la diferencia del comportamiento higrotérmico del aire entre el punto de inyección y el punto de eyección en la cavidad del muro de block hueco como parámetro de validación para la hipótesis; así como la determinación de la diferencia del comportamiento higrotérmico del aire en los puntos de inyección y eyección, entre el muro con SAI y el muro sencillo para cada orientación.



El análisis de los rangos en los comportamientos de temperatura y humedades mínimas y máximas permitió determinar la diferencia de estabilidad entre el muro sin SAI y el muro con SAI, considerando que a menor rango de temperatura mayor estabilidad. En tanto que los rangos de humedad han permitido conocer la fluctuación durante un día típico.

De manera general, los rangos de temperatura han sido menores en los muros con SAI, siendo de menor a mayor el muro Oeste, el muro Sur, el muro Norte y el muro Este.

La humedad relativa ha seguido el mismo patrón, presentando los rangos menores en el muro Oeste, seguido del muro Sur, el muro Norte y finalmente el muro Este.

Los comportamientos más estables durante un día típico, tanto de temperatura como humedad relativa, se presentaron con mayor frecuencia en los horarios nocturnos, en los muros con SAI. Mientras que en los muros sin SAI, no fueron muy definidos los comportamientos entre el horario matutino y nocturno.

En todos los casos, la temperatura dentro de la cavidad de los muros siguió el mismo patrón de comportamiento tanto para los muros sin SAI como para los muros con SAI. Para la humedad relativa, sólo el muro Este presentó patrones similares entre los puntos de inyección y de eyección.





### Validación de la hipótesis para los resultados de la primera fase.

La tabla IV.17 presenta el resumen de esta etapa, para las veces que los muros con SAI, presentan índices menores de temperatura y humedad relativa.

Tabla IV.17 ocasiones en que se cumple el planteamiento hipotético con base en el análisis estadístico.

orientación		ZONA DE INYECCIÓN		ZONA DE EYECCIÓN	
		T	HR	T	HR
N	M	SI	NO	SI	=
	N	=	NO	SI	NO
S	M	=	=	=	SI
	N	SI	NO	=	SI
E	M	NO	SI	SI	SI
	N	=	SI	NO	NO
O	M	=	=	NO	SI
	N	=	NO	SI	NO

M: horario matutino

N: Horario nocturno

SI: Si se cumple con la disminución esperada

NO: No se cumple con al disminución esperada

=: No definitivo



## 2ª FASE

### IV.2.2 Resultados por orientación y gráficos de la segunda fase

#### IV.2.2.1 Diferencia del comportamiento higrotérmico del aire entre el punto de inyección y el punto de eyección

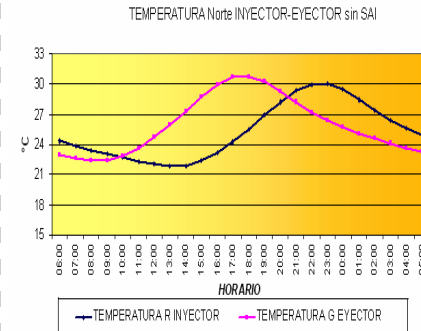
En este apartado, se determinó la diferencia del comportamiento higrotérmico del aire entre el punto de inyección y el punto de eyección en la cavidad del muro de block hueco como parámetro de validación para la hipótesis tanto de los muros sin SAI como de los muros con SAI.

#### Muro Norte sin SAI

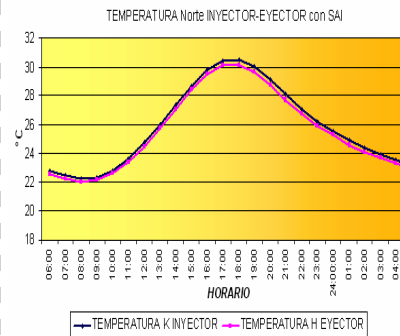
La temperatura del aire en la zona de inyección para este muro, presentó su punto más alto a las 23:00hrs (horario nocturno), en tanto que la cúspide para la zona de eyección fue a las 17:00hrs y ligeramente más alta, presentándose un desfazamiento entre ambas. El punto más bajo de la HR en la zona de inyección coincidió con el más alto de la temperatura, sin embargo se observó un incremento de la HR en la zona de eyección que alcanzó su máximo a las 17:00hrs, momento de máxima temperatura en la zona de inyección (GRAF. IV.33 y IV.34).

#### Muro Norte con SAI

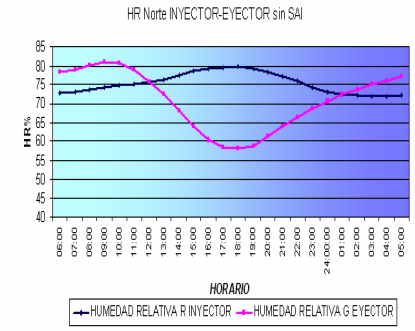
En el muro Norte con SAI, La temperatura descendió ligeramente de la zona de inyección a la zona de eyección, registrando la diferencia mayor al comienzo del horario nocturno. La HR presentó un comportamiento similar al muro sin SAI pero con índices más bajos, se observa nuevamente que la HR se incrementó de la zona de inyección a la zona de eyección (GRAF. IV.35 y IV.36).



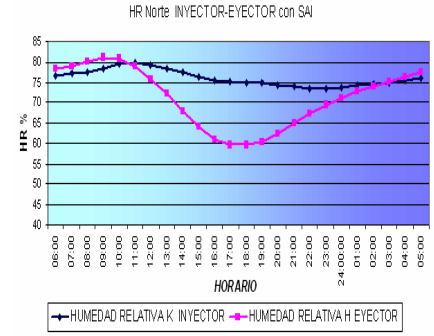
GRAFICA IV.33 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Norte sin SAI.



GRAFICA IV.35 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Norte con SAI.



GRAFICA IV.34 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Norte sin SAI.



GRAFICA IV.36 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Norte con SAI.



### Muro Sur sin SAI

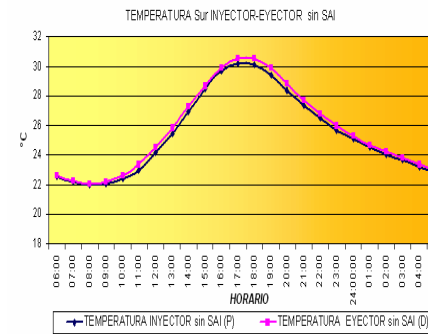
La temperatura para el muro Sur sin SAI se incrementó de la zona de inyección a la zona de eyección, siendo mayor el incremento hacia las primeras horas del horario nocturno. La HR en este muro disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección hacia las últimas horas del horario matutino y primeras del horario nocturno, en tanto que se registró un aumento de las últimas horas del horario nocturno a las primeras del horario matutino. Tanto la temperatura como la HR presentan los mismos patrones para la zona de inyección y la zona de eyección (GRAF. IV.37 y IV.38).

### Muro Sur con SAI

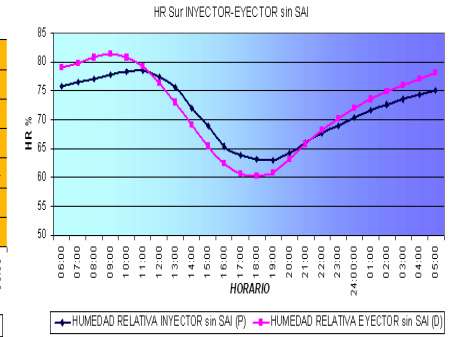
En el muro Sur con SAI la temperatura de la zona de eyección disminuyó ligeramente durante todo el día, siendo mayor la diferencia entre ambas zonas hacia las últimas horas del horario matutino y las primeras del horario nocturno es decir cuando se dieron los registros más altos. La HR fue menor hacia la tarde durante el horario matutino y en las primeras horas del horario nocturno, sin embargo se incrementó para la madrugada y la mañana, durante las últimas horas del horario nocturno y primeras horas del matutino. La temperatura en ambas zonas siguió el mismo patrón, pero la humedad presentó patrones diferentes muy marcados (GRAF. IV.39 y IV.40).

### Muro Este sin SAI

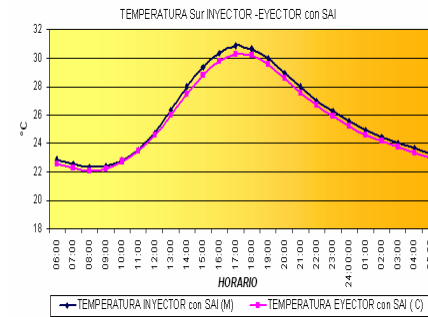
La temperatura en el muro Este sin SAI aumentó de la zona de inyección a la zona de eyección y solamente disminuyó para las primeras horas del horario matutino. La HR presentó una notable disminución de la zona de inyección a la zona de eyección (GRAF. IV.41 y IV.42). Esta fue la orientación que tuvo la mayor diferencia de HR entre la zona de inyección y la zona de eyección.



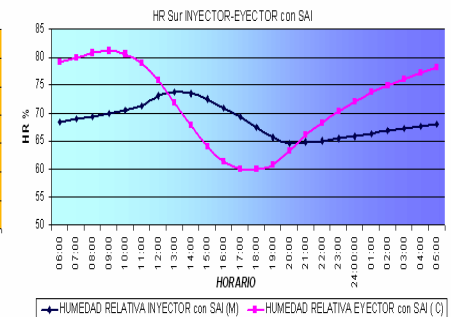
GRAFICA IV.37. Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Sur sin SAI.



GRAFICA IV.38. Diferencia del comportamiento de la HR, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Sur sin SAI.



GRAFICA IV.39. Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Sur con SAI.



GRAFICA IV.40. Diferencia del comportamiento de la HR, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Sur con SAI.



### Muro Este con SAI

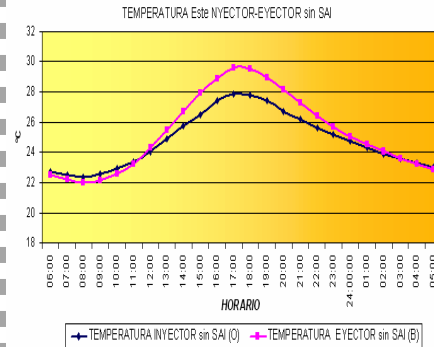
Para el muro Este con SAI la temperatura disminuyó durante todo el horario nocturno de la zona de inyección a la zona de eyección y se igualó con en ambas zonas para las últimas horas del horario matutino. La HR también presentó disminución de la zona de inyección a la zona de eyección al final del horario matutino e inicio del horario nocturno, sin embargo aumentó para la madrugada, es decir en las últimas horas del horario nocturno y primeras del matutino (GRAF. IV.43 y IV.44).

### Muro Oeste sin SAI

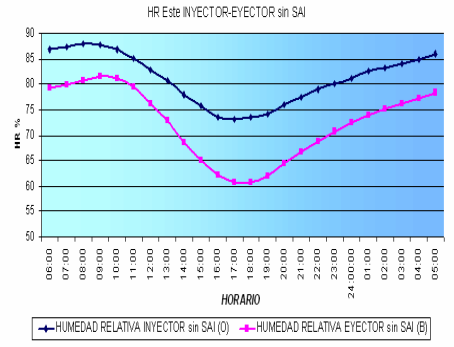
La temperatura en el muro Oeste sin SAI disminuyó notablemente de la zona de inyección a la zona de eyección en las últimas horas del horario matutino, pero aumentó durante gran parte del día. La HR se mantuvo más alta en la zona de inyección que en la zona de eyección durante todo el día y se incrementó ésta diferencia de la madrugada hacia el amanecer (GRAF. IV.45 y IV.46).

### Muro Oeste con SAI

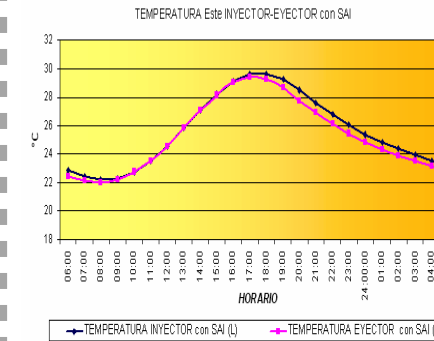
La temperatura de la zona de inyección en el muro Oeste con SAI se mantuvo notablemente por debajo de la temperatura de la zona de eyección durante todo el día. La HR también presentó disminución de la zona de inyección a la zona de eyección al final de horario matutino e inicio del horario nocturno, sin embargo aumentó para la madrugada, es decir en las últimas horas del horario nocturno y primeras del matutino (GRAF. IV.47 y IV.48). En cuanto a temperatura, ésta orientación fue en la que se obtuvieron en mayor grado los resultados esperados, siendo la mayor diferencia entre la zona de inyección y la zona de eyección.



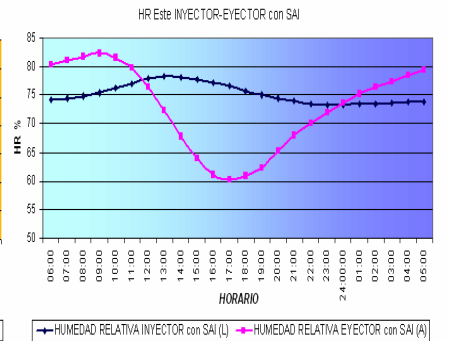
GRAFICA IV.41. Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Este sin SAI.



GRAFICA IV.42 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Este sin SAI.



GRAFICA IV.43 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Este con SAI.



GRAFICA IV.44 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Este con SAI.

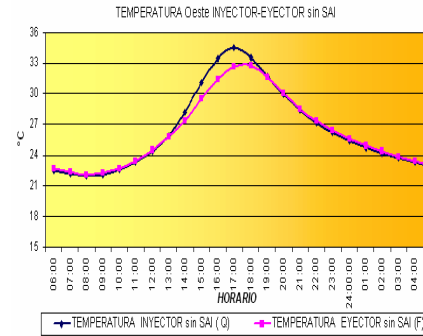


### Síntesis de los resultados de este apartado

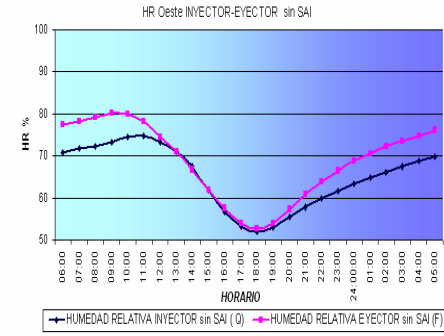
Para la orientación Norte, la temperatura presentó una gran diferencia de comportamiento en el tiempo entre el muro sin SAI y el muro con SAI, viéndose un retardo en el registro de temperatura máxima en la zona de eyección del muro sin SAI, no así en el muro con SAI, donde fue más estable el comportamiento entre ambas zonas. Esto sucede porque los intercambios de energía en el sistema no se dan de manera espontánea debido a las características del medio y las propiedades del material.

Los patrones del comportamiento de la HR de la zona de inyección a la zona de eyección fueron muy similares entre el muro sin SAI y el muro con SAI, sin embargo durante mayor tiempo la HR relativa se mantuvo más baja en la zona de eyección en el muro con SAI que en el muro sin SAI.

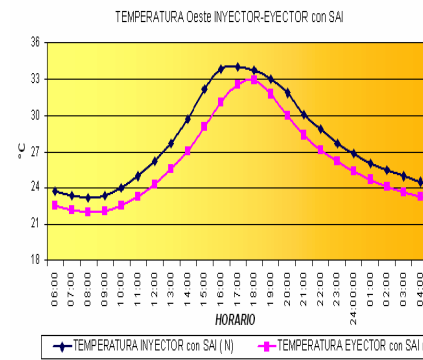
Para la orientación Sur se observó que en el muro con SAI la temperatura se comportó contraria el muro sin SAI, dándose la disminución esperada de la zona de inyección a la zona de eyección. En tanto que la HR presentó disminución en ambos muros, sin embargo en el muro con SAI la diferencia fue más abrupta y la disminución se presentó en un lapso de tiempo menor que en el muro sin SAI.



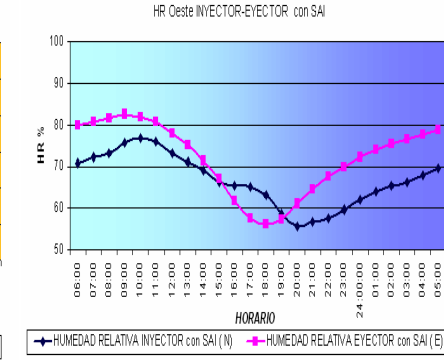
GRAFICA IV.45. Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Oeste sin SAI.



GRAFICA IV.46 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Oeste sin SAI.



GRAFICA IV.47 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Oeste con SAI.



GRAFICA IV.48 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el punto inyección y punto de eyección para el muro Oeste con SAI.



La temperatura en la orientación Este resultó para el horario nocturno como se esperaba en el muro con SAI, con una disminución de la zona de inyección a la zona de eyección, no así en el muro sin SAI. La HR presentó un patrón diferente en el muro sin SAI y se registró durante todo el día más baja en la zona de eyección que en la zona de inyección, con una notable diferencia entre ambas zonas, sin embargo para el muro con SAI se registraron los patrones como en las otras orientaciones pero también con una diferencia mucho más notable, disminuyendo sólo en algunas horas del día de la zona de inyección a la zona de eyección. Puede inferirse que el aire que fluye en el ducto resultó más influenciado por las condiciones del material durante el transcurso del día.

En la orientación Oeste, la temperatura del muro con SAI se comportó de acuerdo a lo esperado y durante todo el día se registró más baja en la zona de eyección que en la zona de inyección. La HR al contrario sólo registró una disminución durante pocas horas del día.

Aunque todas las orientaciones respondieron de manera diferente a la influencia del SAI, con respecto a la temperatura se obtuvieron los resultados esperados, ya que en mayor o menor medida se registraron las disminuciones de temperatura esperadas. La HR relativa presentó patrones similares para todas las orientaciones, a excepción del muro Este sin SAI

La orientación que presentó disminuciones mayores de temperatura entre la zona de inyección y la zona de eyección fue el muro Oeste con SAI, seguido por el muro Sur y Norte, y al final el muro Este que presentó los resultados esperados para el horario nocturno, por lo que cumplió con lo planteado en la hipótesis.



#### IV.2.2.2 Diferencia del comportamiento higrotérmico entre el muro sin SAI y el muro con SAI

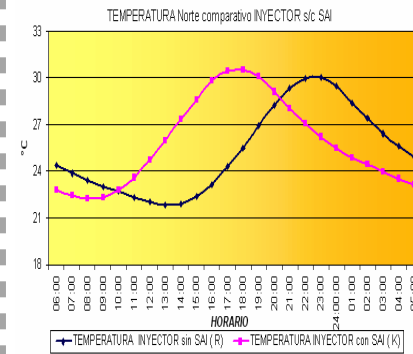
En este apartado, referente al punto 2 de la ruta de análisis, se determinó la diferencia del comportamiento higrotérmico del aire en las zonas de inyección y eyección, entre el muro sin SAI y el muro con SAI para cada orientación.

##### Muro Norte zona de inyección

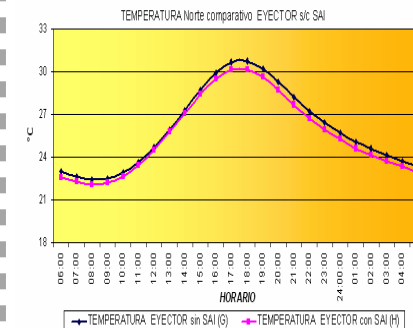
Para la zona de inyección la temperatura del muro Norte sin SAI presentó un desfazamiento en la temperatura máxima, aunque ambas temperaturas fueron muy similares, puede ser por el retardo térmico conjugado con la falta de ventilación, que representa un aumento en la carga térmica. La HR de la misma forma que en el muro sin SAI presentó un desfazamiento en el registro de máxima humedad. puede observarse que el retardo se reflejó en la temperatura y la hr, comportamiento que fue disímil a las demás orientaciones y puede inferirse que la falta de ventilación y asoleamiento contribuyeron en los resultados. En el muro con SAI cuando la temperatura aumentó, disminuyó la HR, fenómeno que no sucedió en el muro sin SAI en el mismo lapso de tiempo (GRAF. IV.49 y IV.50).

##### Muro Norte zona de eyección

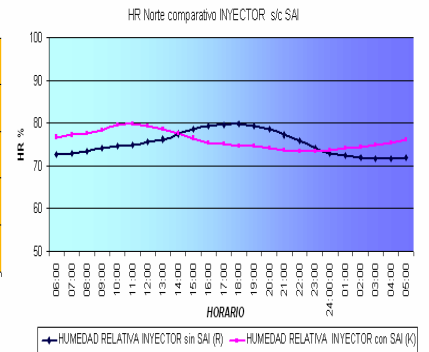
Para la zona de eyección la temperatura en el muro con SAI permaneció más baja durante todo el día, tal como se esperaba, sin embargo la HR fue ligeramente más alta hacia la tarde al final del horario matutino e inicio del nocturno pero se igualaron conforme avanzó la noche y el amanecer. La comparación permite observar que en esta orientación (Norte) el SAI sí cumplió su función como se esperaba disminuyendo la temperatura en la cavidad para acercarse a las condiciones del aire exterior (GRAF. IV.51 y IV.52).



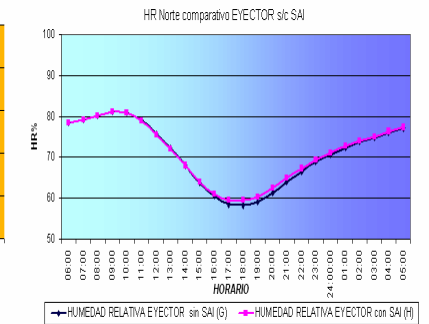
GRAFICA IV.49 Diferencia del comportamiento de la temperatura en el punto inyección entre el muro Norte sin SAI y el muro con SAI.



GRAFICA IV.51 Diferencia del comportamiento de la temperatura en el punto eyección entre el muro Norte sin SAI y el muro con SAI



GRAFICA IV.50 Diferencia del comportamiento de la HR, en el punto inyección entre el muro Norte sin SAI y el muro con SAI.



GRAFICA IV.52. Diferencia del comportamiento de la HR, en el punto eyección entre el muro Norte sin SAI y el muro con SAI.



### Muro Sur zona de inyección

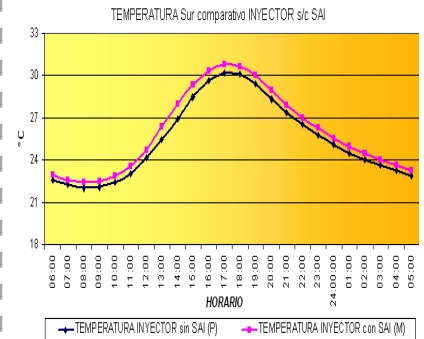
La temperatura para la zona de inyección en la orientación Sur se presentó más alta durante todo el día en el muro con SAI, hecho que se opone a lo esperado. Sin embargo la HR se presentó más baja durante la noche en gran parte del horario nocturno y las primeras horas del matutino. Puede inferirse que la HR disminuyó por el efecto de temperatura que por la acción de la ventilación ya que su comportamiento fue contrario al Norte (GRAF. IV.53 y IV.54).

### Muro Sur zona de eyección

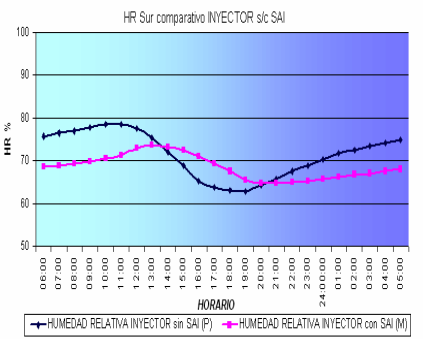
Para la zona de eyección en el muro Sur en los registros de máxima temperatura hubo una disminución en el muro con SAI, presentándose por debajo de la del muro sin SAI. La HR para la zona de eyección se presentó ligeramente más baja en el muro con SAI para medio día y se igualó durante la mayor parte del día. Este comportamiento responde a lo esperado pero sin embargo la diferencia entre el muro sin SAI y el muro con SAI es poco significativa. Aunque puede observarse que la temperatura disminuyó de la zona de inyección a la zona de eyección en el muro con SAI (GRAF. IV.55 y IV.56).

### Muro Este zona de inyección

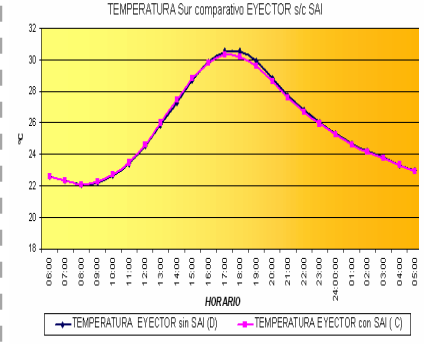
En los muros del Este para la zona de inyección, la temperatura del muro con SAI fue más alta que la del muro sin SAI durante casi todo el día, excepto para las primeras horas de la mañana. La HR se registró más baja en el muro con SAI casi durante todo el día sobre todo para el horario nocturno, y fue más alta en el muro con SAI para el atardecer. En esta orientación la temperatura en el muro con SAI no se comportó como se esperaba, aunque si hubo una disminución en la HR, siendo similar el comportamiento a los muros del Sur con una diferencia de temperaturas más acentuada (GRAF. IV.57 y IV.58).



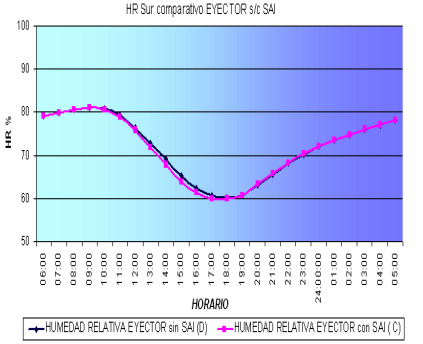
GRAFICA IV.53 Diferencia del comportamiento de la temperatura en el punto inyección entre el muro Sur sin SAI y el muro con SAI



GRAFICA IV.54 Diferencia del comportamiento de la HR en el punto inyección entre el muro Sur sin SAI y el muro con SAI.



GRAFICA IV.55. Diferencia del comportamiento de la temperatura en el punto eyección entre el muro Sur sin SAI y el muro con SAI



GRAFICA IV.56 Diferencia del comportamiento de la HR en el punto eyección entre el muro Sur sin SAI y el muro con SAI.



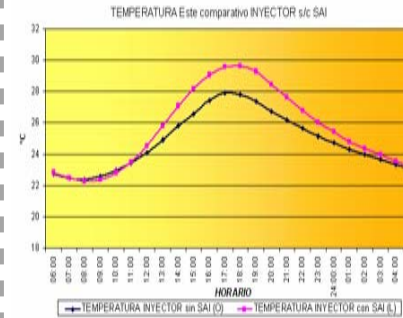


### Muro Este zona de eyección.

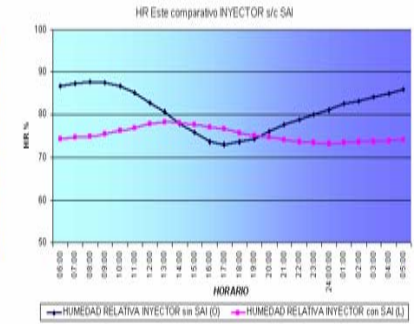
La temperatura en la zona de eyección para los muros Este se presentó más baja durante el horario nocturno para el muro con SAI y más alta en este muro durante el horario matutino. La temperatura presentó una disminución de la zona de inyección a la zona de eyección en el muro con SAI. La HR se comportó directamente relativa al comportamiento de la temperatura. La HR en el muro con SAI se registró por debajo de la del muro sin SAI solamente para un corto período en las últimas horas del horario matutino, y en el horario nocturno se registró por encima del muro sin SAI. La temperatura tuvo un comportamiento esperado al disminuir de la zona de inyección a la zona de eyección en el muro con SAI, sin embargo la diferencia fue poco significativa (GRAF. IV.59 y IV.60).

### Muro Oeste zona de eyección

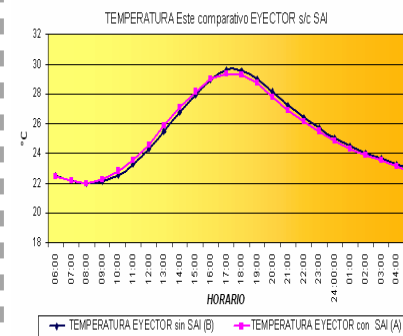
La temperatura en la zona de inyección del muro Oeste con SAI fue más alta que la registrada en el muro sin SAI durante casi todo el día. La HR del muro con SAI también se registró por encima del muro sin SAI para la mayor parte del día y se registró menor durante el horario nocturno. A pesar de que los patrones de comportamiento de temperatura fueron similares a otras orientaciones, el comportamiento de la humedad en el muro con SAI presentó variaciones no lineales en el tiempo. Aunque se esperaba que en cualquier punto del muro la temperatura presentara registros más bajos en el muro con SAI que en el muro sin SAI, esto no ocurrió para las zonas de inyección de ninguna orientación (GRAF. IV.61 y IV.62).



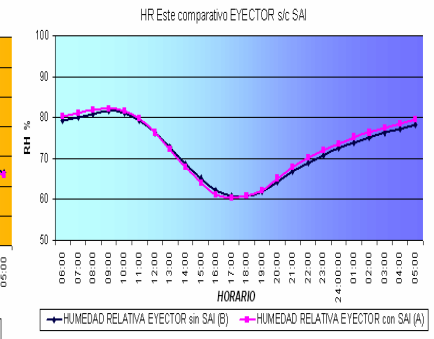
GRAFICA IV.57 Diferencia del comportamiento de la temperatura en el punto de inyección entre el muro Este sin SAI y el muro con SAI.



GRAFICA IV.58 Diferencia del comportamiento de la HR en el punto de inyección entre el muro Este sin SAI y el muro con SAI.



GRAFICA IV.59 Diferencia del comportamiento de la temperatura en el punto de eyección entre el muro Este sin SAI y el muro con SAI.



GRAFICA IV.60 Diferencia del comportamiento de la HR en el punto de eyección entre el muro Este sin SAI y el muro con SAI.



### Muro Oeste zona de eyección

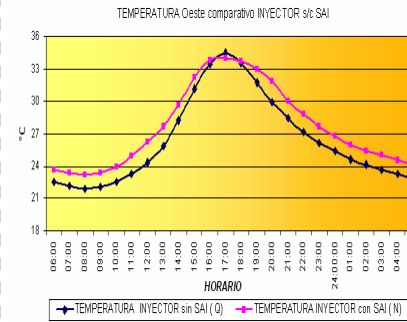
La temperatura del muro Oeste con SAI en la zona de eyección se registró ligeramente por debajo de la del muro sin SAI durante gran parte del día. Se hace notar que el comportamiento fue el esperado, sobre todo porque disminuyó la temperatura de la zona de inyección a la zona de eyección en el muro con SAI. Por el contrario, la HR del muro con SAI se registró notablemente por encima de la del muro sin SAI durante todo el día (GRAF. IV.63 y IV.64)

### Síntesis de los resultados de este apartado

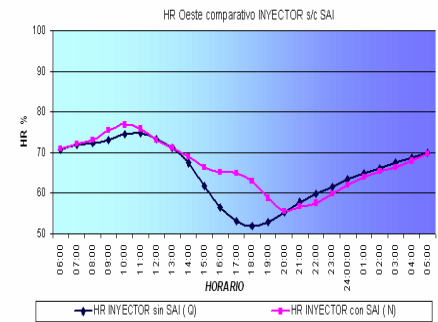
Para todas la orientaciones hubo diferentes comportamientos entre los muros con SAI y los muros sin SAI, además no siguieron patrones similares; para el Norte en la zona de inyección se registró una diferencia de temperaturas mínima entre los muros y con un evidente retardo en el muro sin SAI, para la zona de eyección se obtuvieron los resultados esperados siendo más baja la temperatura en el muro con SAI, sin embargo no sucedió con la HR. En la orientación Norte el SAI sí cumplió con lo planteado en la hipótesis.

En el Sur en la zona de inyección no se obtuvo lo esperado, siendo más alta la temperatura en el muro con SAI. En la zona de eyección sí hubo una disminución de la temperatura, aunque poco significativa.

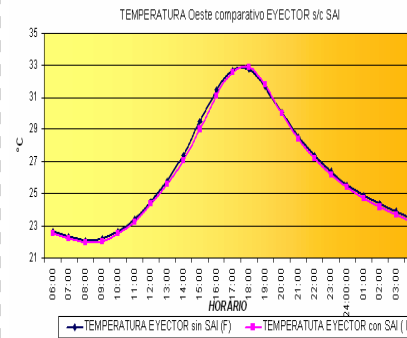
Para el Este en la zona de inyección sólo la HR se registró más baja que la temperatura entre ambos muros, en ésta orientación la temperatura en el muro con SAI no se comportó como se esperaba, aunque sí hubo una disminución en la HR, siendo similar el comportamiento a los muros del Sur con una diferencia de temperaturas más acentuada. En la zona de eyección la temperatura en el horario nocturno sí respondió positivamente a lo esperado del SAI.



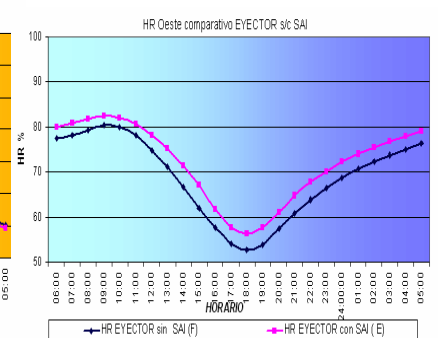
GRAFICA IV.61. Diferencia del comportamiento de la temperatura en el punto inyección entre el muro Oeste sin SAI y el muro con SAI.



GRAFICA IV.62. Diferencia del comportamiento de la HR en el punto inyección entre el muro Oeste sin SAI y el muro con SAI



GRAFICA IV.63 Diferencia del comportamiento de la temperatura en el punto eyección entre el muro Oeste sin SAI y el muro con SAI.



GRAFICA IV.64 Diferencia del comportamiento de la HR en el punto eyección entre el muro Oeste sin SAI y el muro con SAI.



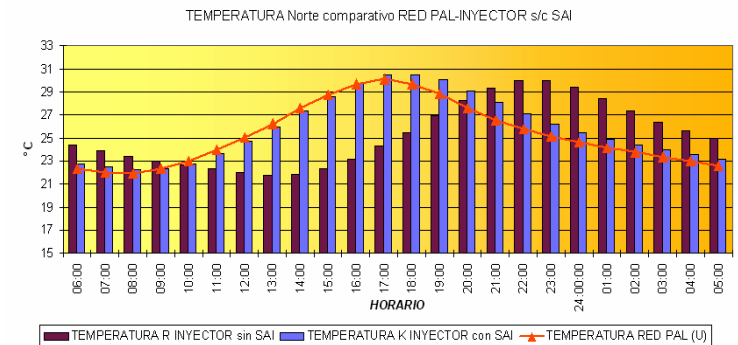
Orientación Oeste, igual que las otras orientaciones la temperatura registrada en para la zona de inyección fue más alta en el muro con SAI y a pesar de que los patrones de comportamiento de temperatura fueron similares a otras orientaciones, el comportamiento de la humedad en el muro con SAI presentó variaciones en el tiempo. Para la zona de eyección el comportamiento de la temperatura fue el esperado. Por el contrario, la HR del muro con SAI se registró notablemente por encima de la del muro sin SAI durante todo el día.

#### IV.2.2.3 Comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en al red principal y el punto de inyección

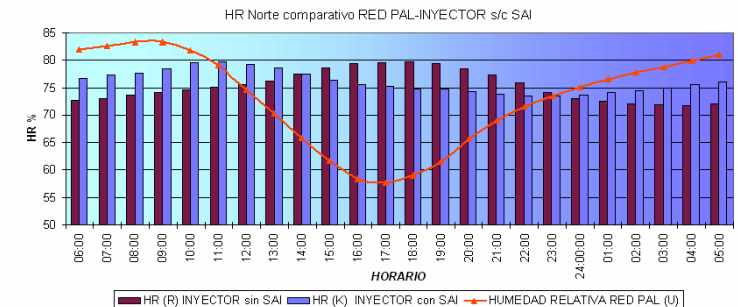
En este apartado se determinó, analizó y comparó el comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en al red principal y el punto de inyección para poder inferir estadísticamente los cambios en las condiciones del aire dentro de la cavidad de los muros. El análisis se llevó a cabo para cada orientación.

##### Muro Norte

La temperatura del aire de la red principal se comportó muy similar a la zona de inyección del muro con SAI, en tanto que se observó el desfazamiento de la temperatura máxima del muro sin SAI en comparación con la del aire de la red principal. La HR para del aire de la red principal fue más alta durante el horario nocturno, que la humedad de los muros en la zona de inyección. La humedad dentro de los muros se comportó con menores fluctuaciones durante el día que la humedad del aire de la red principal, la cual se registró mas baja durante la tarde (GRAF. IV.65 y IV.66). La temperatura disminuyó en las primeras horas de la mañana en el muro con SAI, pero aumentó ligeramente a partir de las 12:00hrs.



*temperatura, entre la red principal de captación y el punto de inyección en los muros Norte s/c SAI.*



*GRAFICA IV.66 Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el punto de inyección en los muros Norte s/c SAI.*



## Muro Sur

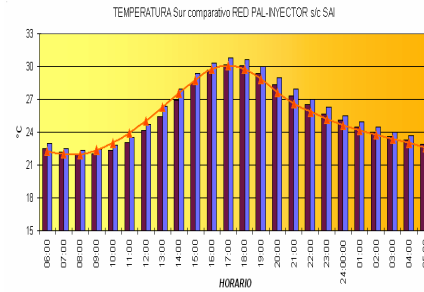
Para la orientación Sur en las primeras horas de la mañana, la temperatura disminuyó de la red principal a la zona de inyección, aunque puede verse que la temperatura del muro sin SAI fue aun más baja; hacia la tarde y en gran parte del horario nocturno la temperatura aumentó ligeramente de la red principal a la zona de inyección. La HR disminuyó de la red principal a la zona de inyección de ambos durante casi todo el día (GRAF. IV.67 y IV.68). Para esta orientación Sur la disminución de la temperatura no fue significativa, pero la humedad relativa disminuyó considerablemente, sobre todo durante el horario nocturno.

## Muro Este

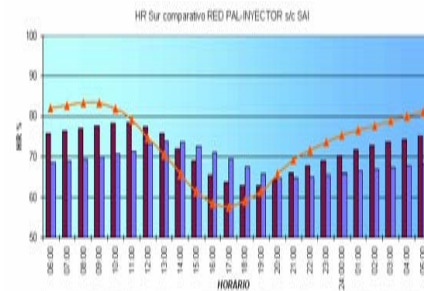
La temperatura en el muro Este disminuyó ligeramente de la red principal a la zona de inyección pasando las 12:00hrs, pero para el muro con SAI aumentó durante el horario nocturno. La HR disminuyó notablemente en el muro con SAI de la red principal a la zona de inyección, desde las 23:00hrs a las 12:00hrs y aumentó de las 13:00 a las 22:00hrs. Para esta orientación la temperatura disminuyó en cantidad poco significativa, pero la humedad relativa sí lo hizo considerablemente, sobre todo durante el horario nocturno (GRAF. IV.69 y IV.70).

## Muro Oeste

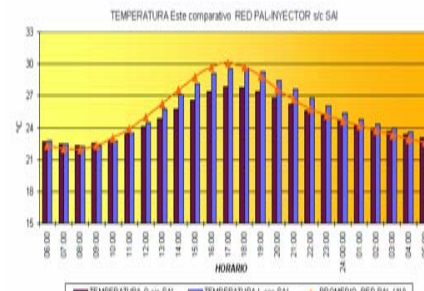
La temperatura de la red principal a la zona de inyección aumentó durante todo el día sobre todo para el muro con SAI. La HR disminuyó considerablemente durante gran parte del día a excepción de las 14:00 a las 19:00hrs en el muro con SAI, donde se registró más alta que en la red principal. Esta orientación Oeste no presentó los resultados esperados en cuanto a temperatura pero la HR disminuyó significativamente (GRAF. IV.71 y IV.72).



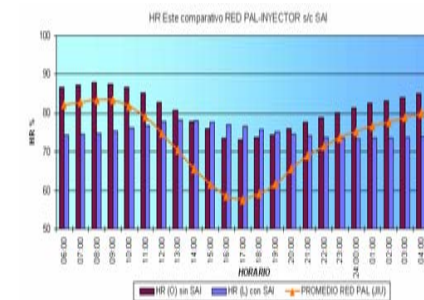
GRAFICA IV.67. Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre la red principal de captación y el punto de inyección en los muros Sur s/c SAI



GRAFICA IV.68 Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el punto de inyección en los muros Sur s/c SAI.



GRAFICA IV.69 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre la red principal de captación y el punto de inyección en los muros Este s/c SAI.



GRAFICA IV.70 Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el punto de inyección en los muros Este s/c SAI.

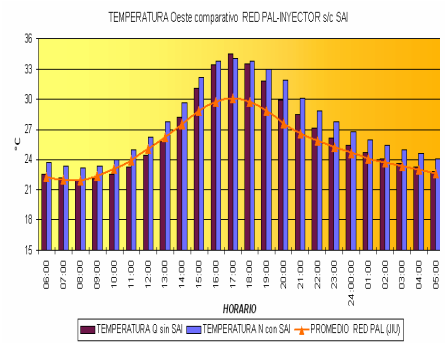


**Síntesis de los resultados de este apartado**

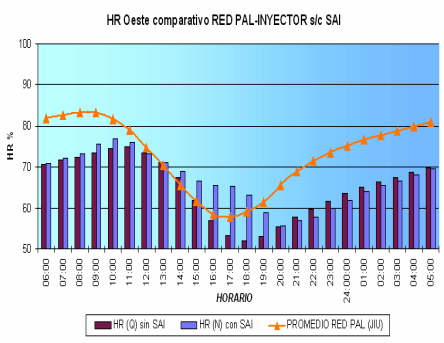
Un punto importante que permitió este análisis fue verificar que la HR del aire nocturno fue más baja en las cavidades de los muros que la registrada en el aire exterior. Para el Norte la temperatura sólo disminuyó conforme se esperaba durante la mañana de la zona de captación principal a la zona de inyección. Para el Sur solamente durante la mañana hubo la disminución esperada, y aunque la disminución de la temperatura no fue significativa, la humedad relativa si lo fue. En el Este la temperatura disminuyó muy poco y no resultó como se esperaba para el horario nocturno en el muro con SAI, pero la humedad relativa sí lo hizo considerablemente, sobre todo durante el horario nocturno; aunque en el Oeste no resultó como se esperaba para el muro con SAI, la HR sí fue la mayor parte del día.

**IV.2.2.4 Comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en la red principal y el punto de eyección**

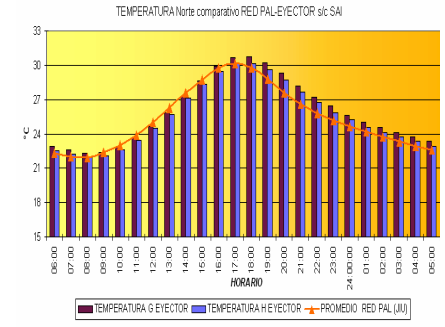
En este apartado se determinó, analizó y comparó el comportamiento higrotérmico del flujo entre el aire captado en al red principal y el punto de eyección para poder inferir estadísticamente los cambios en las condiciones del aire dentro de la cavidad de los muros. El análisis se llevó a cabo para cada orientación, como parámetro de validación y eficiencia del SAI.



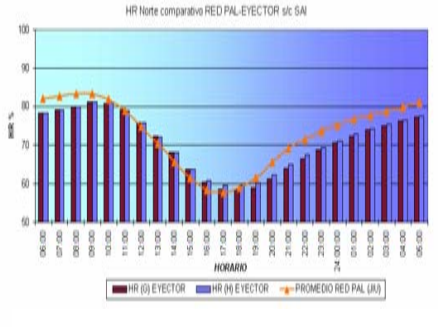
GRAFICA IV.71. Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre la red principal de captación y el punto de inyección en los muros Oeste s/c SAI.



GRAFICA IV.72. Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el punto de inyección en los muros Oeste s/c SAI.



GRAFICA IV.73. Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre la red principal de captación y el punto de eyección en los muros Norte s/c SAI.



GRAFICA IV.74. Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el punto de eyección en los muros Norte s/c SAI.

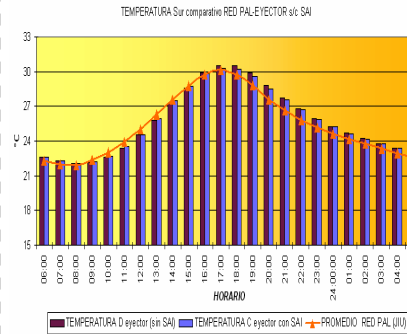


### Muro Norte

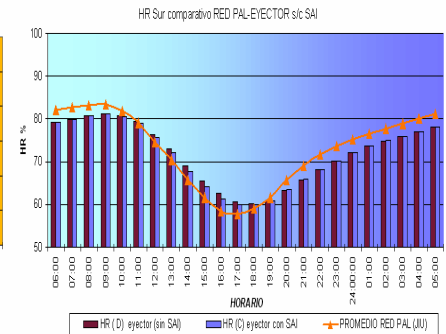
La temperatura del aire de la red principal se comportó muy similar a la zona de eyección en ambos muros, ya no se observó el desfazamiento de la temperatura máxima del muro sin SAI de la zona de inyección en comparación con la del aire de la red principal. La HR para del aire de la red principal fue más alta durante el horario nocturno, que la humedad de los muros en la zona de eyección. La humedad dentro de los muros se comportó similar durante el día a la humedad del aire en la red principal, la cual se registró mas baja durante la tarde (GRAF. IV.73 y IV.74). La temperatura disminuyó en las primeras horas de la mañana en el muro con SAI, pero aumentó ligeramente a

### Muro Sur

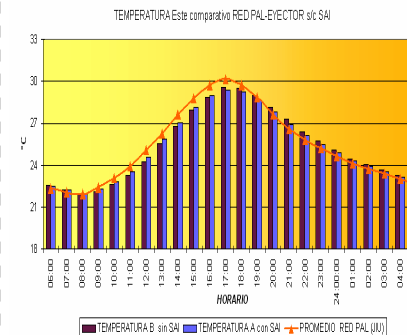
Para la orientación Sur en las primeras horas de la mañana, la temperatura disminuyó de la red principal a la zona de eyección, puede verse que la temperatura del muro con SAI fue aun más baja; hacia la tarde y en gran parte del horario nocturno la temperatura aumentó ligeramente de la red principal a la zona de eyección. La HR disminuyó de la red principal a la zona de eyección de ambos durante casi todo el día excepto de las 12:00 a las 18:00hrs, cuando se registró mas alta en ambos muros sobretodo en el muro sin SAI (GRAF. IV.75 y IV.76). Para esta orientación Sur la disminución de la temperatura no fue considerable, pero la humedad relativa disminuyó más significativamente, sobre todo durante el horario nocturno.



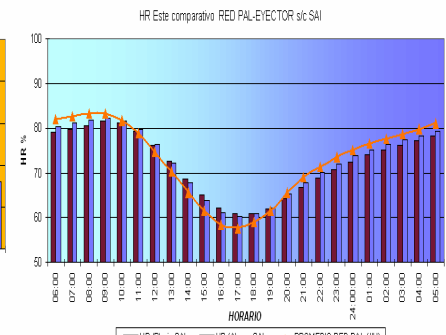
GRAFICA IV.75 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre la red principal de captación y el punto de eyección en los muros Sur s/c SAI.



GRAFICA IV.76 Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el punto de eyección en los muros Sur s/c SAI.



GRAFICA IV.77 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre la red principal de captación y el punto de eyección en los muros Este s/c SAI.



GRAFICA IV.78 Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el punto de eyección en los muros Este s/c SAI.



### Muro Este

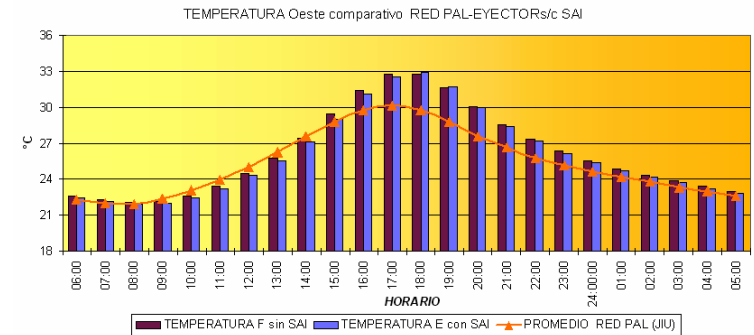
La temperatura en el muro Este disminuyó de la red principal a la zona de eyección de las 9:00 hasta las 18:00hrs, aunque aumenta ligeramente durante el horario nocturno. La HR disminuyó en el muro con SAI de la red principal a la zona de eyección, desde las 21:00hrs a las 10:00hrs y aumentó de las 11:00 a las 21:00hrs. Para esta orientación la temperatura disminuyó en cantidad poco significativa, pero la humedad relativa disminuyó considerablemente, sobre todo durante el horario nocturno (GRAF. IV.77 y IV.78).

### Muro Oeste

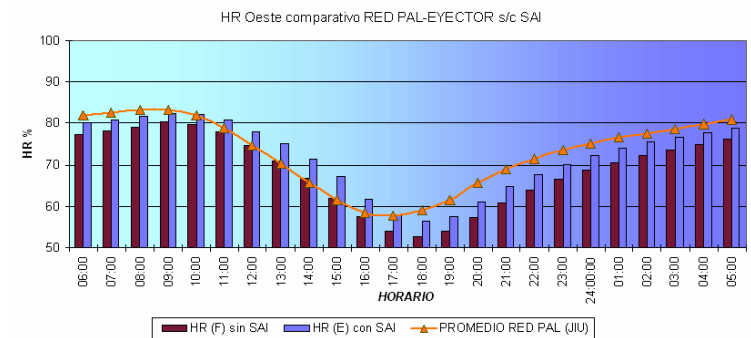
La temperatura de la red principal a la zona de eyección aumentó durante gran parte del día sobre todo para el muro sin SAI en el horario nocturno. La HR disminuyó considerablemente durante gran parte del día a excepción de las 11:00 a las 17:00hrs en el muro con SAI, donde se registró más alta que en la red principal. Esta orientación Oeste no presentó los resultados esperados en cuanto a temperatura, sin embargo hubo una disminución importante entre la zona de inyección y la zona de eyección para el muro con SAI. Por otro lado la HR disminuyó significativamente (GRAF. IV.79 y IV.80).

### Síntesis de los resultados de este apartado

De manera general para todas las orientaciones, pudo registrarse una disminución de la HR entre el aire de la red principal y el aire eyectado, en cuanto que la temperatura fue más limitada dicha disminución. Para el Norte la disminución de la temperatura tal como se esperaba, se dio por las mañanas únicamente; para el Sur la temperatura disminuyó solamente por las mañanas, para el Este la temperatura disminuyó casi durante todo el horario matutino; para el muro Oeste no hubo disminución en el muro con SAI.



GRAFICA IV.79 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre la red principal de captación y el punto de eyección en los muros Oeste s/c SAI.



GRAFICA IV.80 Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el punto de eyección en los muros Oeste s/c SAI.





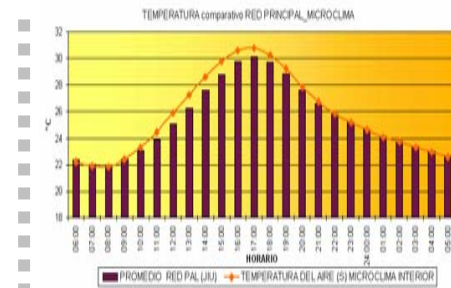
#### IV.2.2.5 Diferencia del microclima interno y el aire en la red principal

En este apartado se compararon las condiciones microclimáticas internas con las condiciones higrotérmicas del aire en la red principal para inferir estadísticamente el comportamiento del SAI.

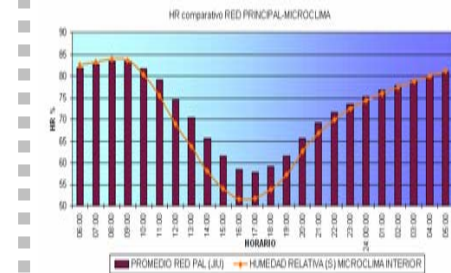
La temperatura del aire en la red principal se registró más baja de manera general, haciéndose más notable la diferencia de 10:00 a 19:00hrs. Esta diferencia de temperaturas, en intercambio con la temperatura de los muros, representó un obstáculo más para el funcionamiento del SAI, debido a que la pérdida de calor se dio del medioambiente hacia los muros, aumentando incluso el riesgo de condensación en estas caras internas. La HR por el contrario fue más alta en la red principal de captación que la del microclima, diferencia que se acentuó de las 10:00 a las 22:00hrs y se igualó hacia la madrugada y el amanecer. El aire captado en la red principal fue más húmedo que el del microclima posiblemente por la influencia de la humedad en los materiales del suelo y por la vegetación aledaña a la toma de aire de la red principal (GRAF. IV.81 y IV.82).

#### IV.2.2.6 Comportamiento higrotérmico entre el microclima y el aire de la zona de eyección

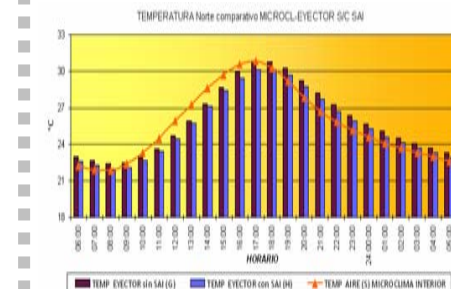
En este apartado se determinaron, analizaron y compararon las condiciones microclimáticas internas del prototipo arquitectónico con las condiciones higrotérmicas del aire eyectado. El análisis se llevó a cabo para cada orientación en orden de inferir estadísticamente las diferencias en las condiciones del aire dentro de la cavidad de los muros.



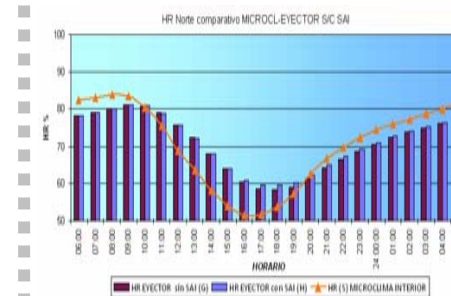
GRAFICA IV.81 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre la red principal de captación y el microclima..



GRAFICA IV.82 Diferencia del comportamiento de la HR, entre la red principal de captación y el microclima.



GRAFICA IV.83 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el microclima y el punto de eyección para los muros Norte s/c SAI.



GRAFICA IV.84 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el microclima y el punto de eyección para los muros Norte s/c SAI





### Muro Norte

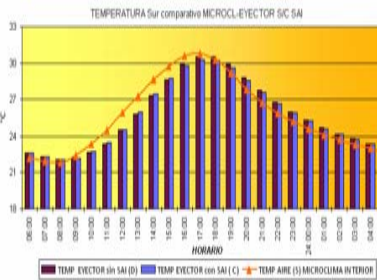
La temperatura registrada en el muro con SAI para esta orientación fueron más bajas que las del microclima en el horario matutino e inclusive que las del muro sin SAI y más alta en el horario nocturno. La HR a excepción de las horas en que la temperatura fue mayor en los muros, se registró más baja durante la mayor parte del día en los muros, aunque en el muro con SAI fue ligeramente más elevada. La diferencia más significativa se encontró en la HR que fue menor en los muros durante el horario nocturno y parte del horario matutino (GRAF. IV.83 y IV.84).

### Muro Sur

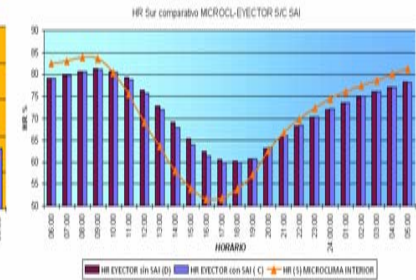
Las temperaturas registradas en el muro con SAI para esta orientación fueron más bajas que las del microclima en el horario matutino e inclusive que las del muro sin SAI y más altas en el horario nocturno. La HR, a excepción de las horas en que la temperatura fue mayor en los muros, se registró más baja durante la mayor parte del día en los muros. La diferencia más significativa se encontró en la HR que fue menor en los muros durante el horario nocturno y parte del horario matutino (GRAF. IV.85 y IV.86).

### Muro Este

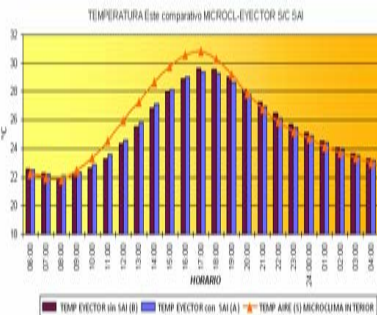
Las temperaturas registradas en el muro con SAI para esta orientación fueron más bajas que las del microclima en el horario matutino e inclusive que las del muro sin SAI y ligeramente más altas en el horario nocturno. La HR, a excepción de las horas en que la temperatura fue mayor en los muros, se registró mas baja durante la mayor parte del día en los muros. Aunque esta orientación tuvo un comportamiento muy similar a la del Sur y el Norte, las diferencias entre de HR y temperatura entre el microclima y la zona de eyección fueron muy bajas (GRAF. IV.87 y IV.88).



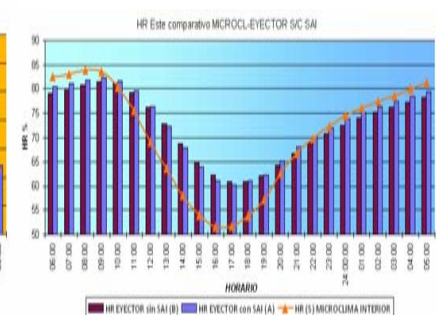
GRAFICA IV.85 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el microclima y el punto de eyección para los muros Sur s/c SAI



GRAFICA IV.86 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el microclima y el punto de eyección para los muros Sur s/c SAI.



GRAFICA IV.87. Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el microclima y el punto de eyección para los muros Este s/c SAI.



GRAFICA IV.88. Diferencia del comportamiento de la HR, entre el microclima y el punto de eyección para los muros Este s/c SAI.



### Muro Oeste

La temperatura registrada en el muro con SAI para esta orientación fue mas baja que la del microclima en el horario matutino e inclusive que la del muro sin SAI pero más alta en el horario nocturno. La HR se registró mas baja durante la mayor parte del día en los muros a excepción de las horas en que la temperatura fue menor en los muros cuando se registro la HR mas elevada en el muro con SAI. Esta orientación tuvo un comportamiento muy similar a las anteriores, sin embargo las diferencias entre de HR y temperatura entre el microclima y la zona de eyección se acentuaron más. (GRAF. IV.89 y IV.90).

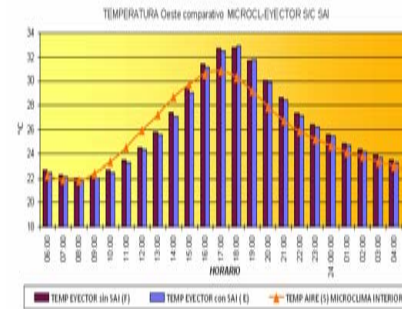
### Síntesis de los resultados de este apartado

En todas las orientaciones el comportamiento diferencial entre el microclima y el aire eyectado fue similar.

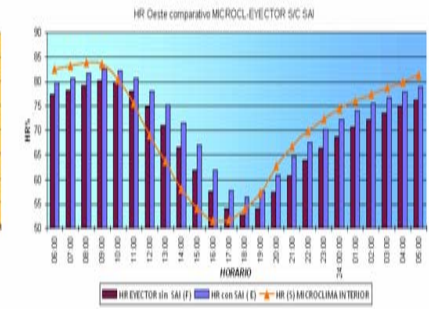
Para todas las orientaciones la temperatura del microclima fue más elevada que la del muro con SAI en el horario matutino y más alta en el horario nocturno. Durante gran parte del día, la HR fue más baja en los muros con SAI para todas las orientaciones. Para la HR la orientación con diferencias más significativas fue la Oeste y para la temperatura fue la Este.

#### IV.2.2.7 Diferencia entre el clima exterior y el aire de la zona de eyección.

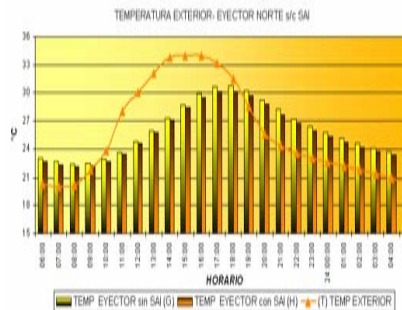
En este apartado se determinó y comparó la diferencia entre el clima exterior, para humedad relativa y temperatura, y el aire de extraído como indicadores para inferir la eficiencia del SAI.



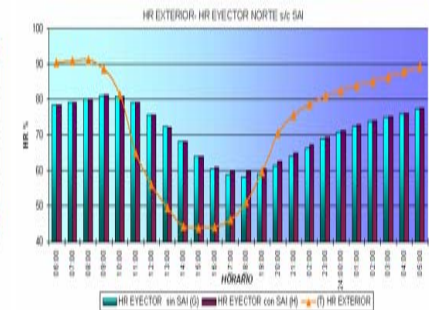
GRAFICA IV.89 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el microclima y el punto de eyección para los muros Oeste s/c SAI.



GRAFICA IV.90 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el microclima y el punto de eyección para los muros Oeste s/c SAI.



GRAFICA IV.91 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el aire exterior y el punto de eyección para los muros Norte.



GRAFICA IV.92 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el aire exterior y el punto de eyección para los muros Norte.



### Muro Norte

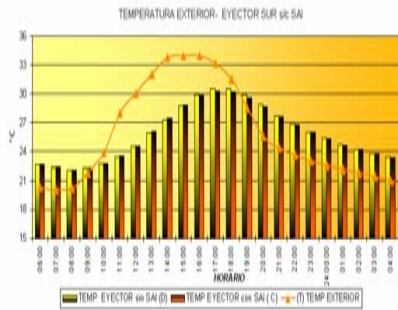
Para la orientación Norte las diferencias de temperatura durante el horario nocturno entre el aire exterior y el aire de la zona eyectada fueron menores en el muro con SAI que en el muro sin SAI. Este comportamiento es el que se esperaba. En tanto que durante el horario matutino la temperatura exterior se registró muy por encima de la registrada en los muros, en donde la temperatura en el muro con SAI fue mas baja que la temperatura del muro sin SAI, también como se esperaba. La HR fue más baja en los muros que en el ambiente exterior durante el horario nocturno, pero se registró mas alta en el muro con SAI de las 10:00 a las 18:00hrs.(GRAF. IV.91 y IV.92).

### Muro Sur

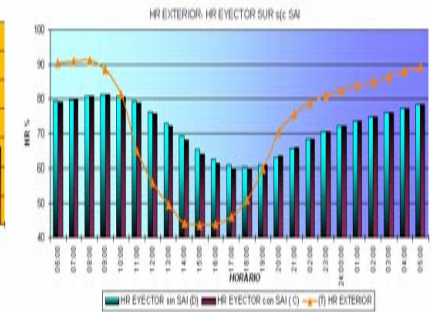
La diferencia de temperaturas entre los muros y el ambiente exterior fue ligeramente menor entre el muro con SAI para el horario nocturno; igual que la orientación Norte, la temperatura exterior fue mucho más alta de las 10:00 a las 18:00hrs, pero se logró la disminución esperada para el horario nocturno. En cuanto a la HR, se registró menor humedad en los muros que en el ambiente exterior durante el horario nocturno, presentándose para el horario matutino mayor HR en los muros, aunque un poco menor en el muro con SAI (GRAF. IV.93 y IV.94).

### Muro Este

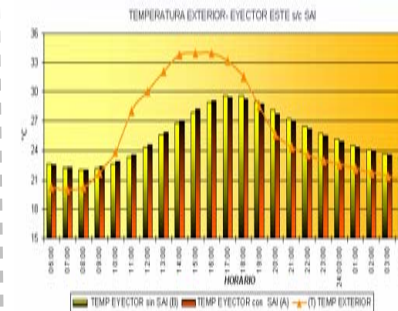
La temperatura para la orientación Este presentó grandes diferencia en el horario matutino, registrándose temperaturas más elevadas en el aire exterior que en los muros, sin embargo para el horario nocturno, cuando disminuyó la temperatura del aire exterior ésta fue menor que la de los muros, presentando las menores diferencias entre el muro con SAI, como se esperaba. En cuanto a la HR, esta orientación presentó también registros más elevados del aire exterior durante el horario nocturno y notablemente más bajos de las 10:00 a las 18:00hrs, sin embargo la HR en el muro con SAI fue siempre más alta que la del muro sin SAI (GRAF. IV.95 y IV.96).



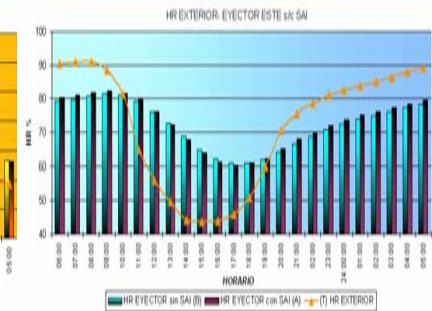
GRAFICA IV.93 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el aire exterior y el punto de eyección para los muros Sur.



GRAFICA IV.94 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el aire exterior y el punto de eyección para los muros Sur.



GRAFICA IV.95 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el aire exterior y el punto de eyección para los muros Este.



GRAFICA IV.96 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el aire exterior y el punto de eyección para los muros Este.



## Muro Oeste

En la orientación Oeste, la temperatura del aire exterior se registró más alta durante el horario matutino que la temperatura en los muros, y para el horario nocturno la temperatura exterior descendió por debajo de la registrada en los muros con una diferencia menor entre el muro con SAI, tal como se esperaba; además durante todo el día fue menor la temperatura en el muro con SAI. La HR para esta orientación fue la menos deseada en el muro con SAI, ya que registró niveles más altos que en el muro sin SAI, aunque para el horario nocturno siguieron siendo más bajas que la HR del aire exterior (GRAF. IV.97 y IV.98).

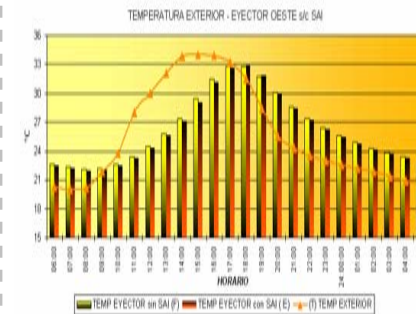
### Síntesis de los resultados de este apartado

Para el muro Norte sí se obtuvieron los resultados diferenciados entre el aire exterior y la zona de eyección del muro con SAI planteados en el horario nocturno, la HR también fue más baja que la del ambiente en el horario nocturno. Para el muro Sur la diferencia esperada también se registró y fue menor entre el aire exterior y la zona de eyección del muro con SAI, la HR también fue más baja en el horario nocturno en el muro con SAI.

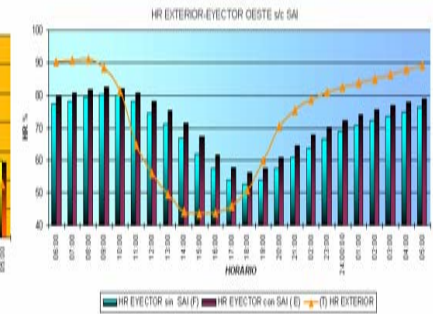
Para el muro Este la diferencia entre la temperatura del aire eyectado y el aire exterior fue muy notable, siendo menor la del muro con SAI en el horario nocturno, a diferencia de las otras orientaciones, la HR fue más alta en el muro con SAI. Para la orientación Oeste la temperatura fue más alta en los muros que la exterior en el horario nocturno, pero la diferencia con el muro con SAI fue menor.

#### IV.2.2.8 Diferencia del las condiciones higrotérmicas entre el microclima interior y el clima exterior.

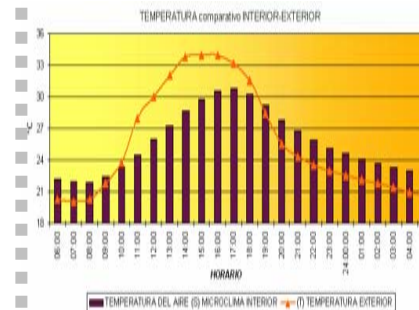
En este apartado se compararon las condiciones higrotérmicas entre el microclima interior y el clima exterior para determinar si las diferencias se registran por arriba de la temperatura del aire inyectado y expulsado y determinar como influyen en el comportamiento del muro con SAI.



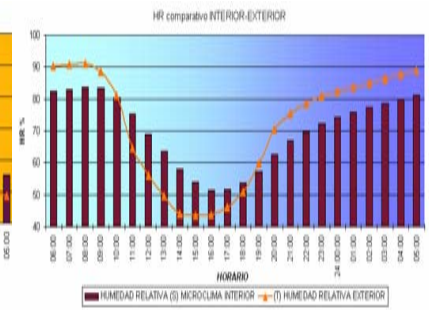
GRAFICA IV.97 Diferencia del comportamiento de la temperatura, entre el aire exterior y el punto de eyección para los muros Oeste.



GRAFICA IV.98 Diferencia del comportamiento de la HR, entre el aire exterior y el punto de eyección para los muros Oeste.



GRAFICA IV.99 Diferencia del comportamiento de la temperatura entre el aire del microclima interior y el aire exterior.



GRAFICA IV.100 Diferencia del comportamiento de la HR entre el aire del microclima interior y el aire del microclima exterior.

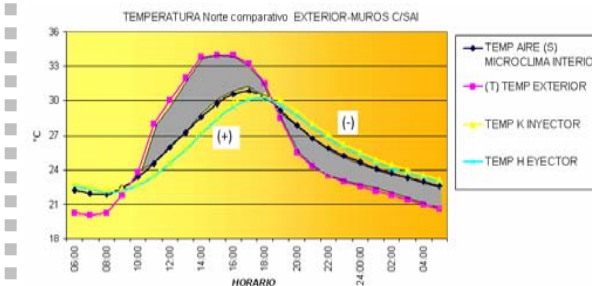




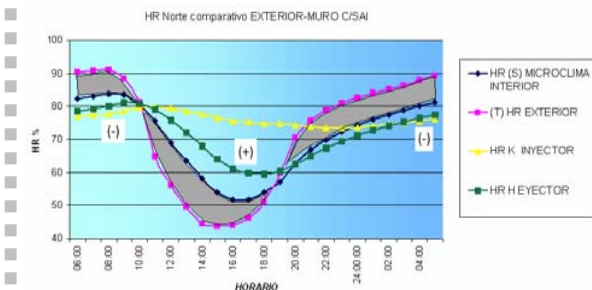
Los patrones que se obtuvieron del comportamiento de temperatura en el ambiente exterior fueron más altos de las 10:00 a las 18:00hrs que los registrados en el microclima interior. Lo que representa una aportación de calor al SAI mayor del exterior al interior en ese horario, en el horario nocturno la temperatura exterior se registró por debajo de la temperatura del microclima interior. La HR se registró más alta en el exterior que en el microclima interior durante el horario nocturno, lo que representa una congruencia con los patrones obtenidos del comportamiento de temperatura (GRAF. IV.99 y IV.100).

Comparando ese comportamiento higrotérmico con los registrados de la zona de inyección a la zona de eyección se obtuvo que para la orientación Norte (GRAF. IV.101 y IV.102), el aire exterior representó un aumento en la carga térmica al SAI a las 19:00hrs, y el resto del día se registraron como disminución de la carga térmica del SAI hacia el ambiente exterior, en ambos casos la pared interna registró aportaciones y pérdidas diferentes a la pared exterior. Las condiciones de humedad del aire exterior para esta orientación posibilitaron una pérdida de humedad del SAI de las 11:00 a las 18:00hrs, momentos en que la temperatura exterior fue más alta. Sin embargo durante el horario nocturno, las condiciones de humedad del ambiente no permitieron esa pérdida del SAI al ambiente.

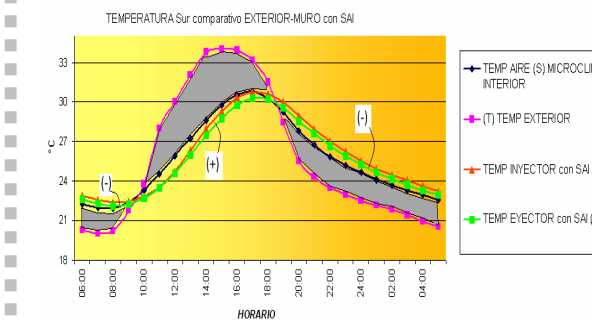
Para la orientación Sur (GRAF. IV.103 y IV.104), el aire exterior aportó calor al SAI de las 10:00 a las 19:00hrs, y durante el horario nocturno y restante del matutino se registraron pérdidas del SAI hacia el ambiente exterior, en ambos casos la pared interna registró aportaciones y pérdidas diferentes a la pared exterior. Las condiciones de humedad del aire exterior para ésta orientación permitieron una descarga del SAI de las 11:00 a las 18:00hrs, momentos en que la temperatura exterior fue más alta. Sin embargo durante el horario nocturno, las condiciones de humedad del ambiente no permitieron esa pérdida del SAI al ambiente.



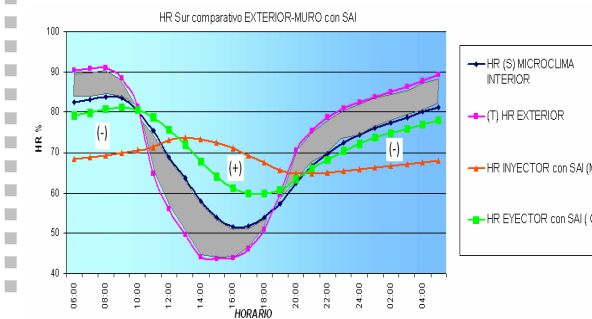
GRAFICA IV.101 .Diferencia del comportamiento de la temperatura entre el medio ambiente y los muros Norte s/c SAI.



GRAFICA IV.102 Diferencia del comportamiento de la HR entre el medio ambiente y los muros Norte s/c SAI.



GRAFICA IV.103 .Diferencia del comportamiento de la temperatura entre el medio ambiente y los muros Sur s/c SAI.



GRAFICA IV.104 .Diferencia del comportamiento de la HR entre el medio ambiente y los muros Sur s/c SAI.



En la orientación Este (GRAF. IV.105 y IV.106), se registró el mismo comportamiento que en la orientación Sur, en donde también, el aire exterior aportó calor al SAI de las 10:00 a las 19:00hrs, y durante el horario nocturno y restante del matutino se registraron pérdidas del SAI hacia el ambiente exterior, en ambos casos la pared interna registró aportaciones y pérdidas diferentes a la pared exterior. Las condiciones de humedad del aire exterior para esta orientación permitieron una descarga del SAI de las 11:00 a las 18:00hrs, momentos en que la temperatura exterior fue más alta. Sin embargo durante el horario nocturno, las condiciones de humedad del ambiente no permitieron esa pérdida del SAI al ambiente.

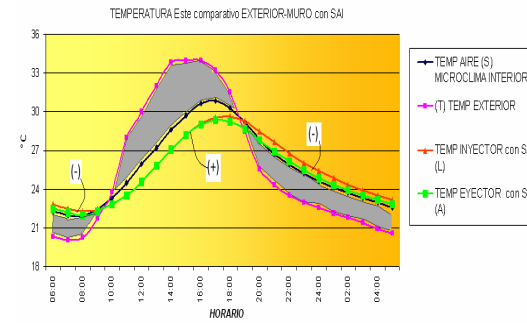
En la orientación Oeste (GRAF. IV.107 y IV.108), tanto para temperatura como para la HR igual que las orientaciones anteriores, se registraron pérdidas y ganancias de calor al SAI desde el ambiente exterior y microclima en los mismos horarios.

**Síntesis de los resultados de esta etapa**

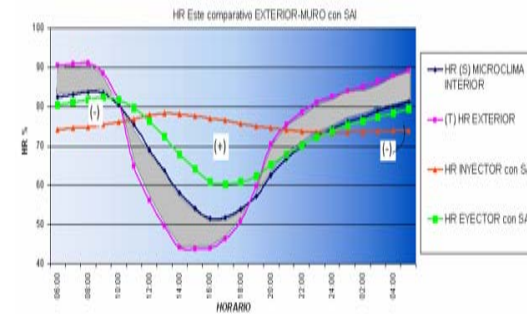
De manera general, las cuatro orientaciones presentaron los mismos comportamientos comparativos de las condiciones externas en relación al SAI, en todos los casos hubo posibilidad de pérdida de calor del SAI al medio externo durante el horario nocturno, la mayor posibilidad de pérdida se dio en la orientación Sur, seguido por la orientación Norte, Oeste y por último con menos posibilidades la orientación Este. La HR presentó el mismo patrón para las cuatro orientaciones.

**IV.2.2.9 Influencia de la radiación en el aire eyectado**

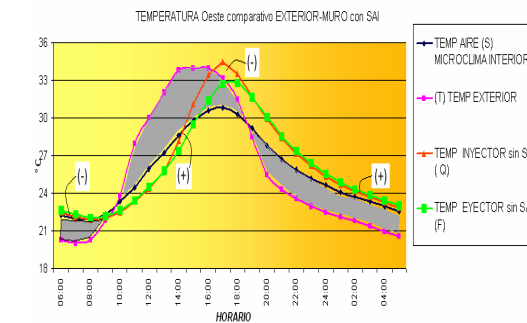
En este apartado se obtuvieron y tipificaron los patrones de comportamiento de la radiación, para inferir cómo influyen en el comportamiento del aire eyectado.



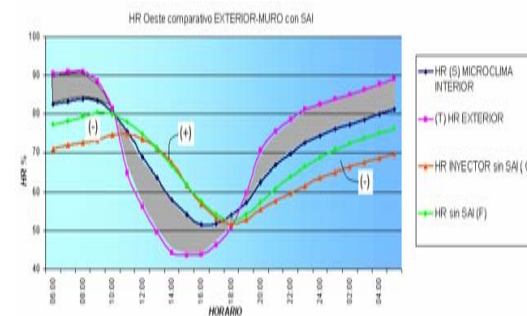
GRAFICA IV.105 .Diferencia del comportamiento de la temperatura entre el medio ambiente y los muros Este s/c SAI.



GRAFICA IV.106 .Diferencia del comportamiento de la HR entre el medio ambiente y los muros Este s/c SAI.



GRAFICA IV.107 .Diferencia del comportamiento de la temperatura entre el medio ambiente y los muros Oeste s/c SAI.



GRAFICA IV.108 .Diferencia del comportamiento de la HR entre el medio ambiente y los muros Oeste s/c SAI.



### Orientación Norte

Para la orientación Norte en el muro con SAI la temperatura presentó sus máximas temperaturas entre las 17:00 y 18:00hrs con un desfazamiento horario debido al retardo térmico de los materiales, horario en que ya hay una disminución considerable de la radiación, puesto que la máxima tipificada se presentó a las 13:00hrs. Gráficamente puede observarse (GRAF. IV.109 y IV.110) que la curva de la temperatura del aire exterior se asemeja a la curva de la radiación.

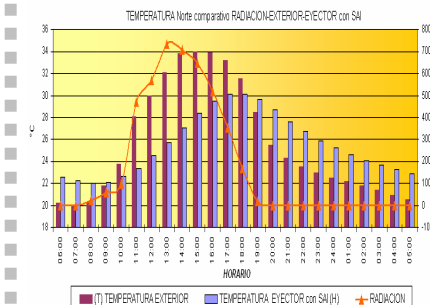
En cuanto a la HR se registró que en los momentos de mayor radiación la HR en el aire exterior disminuyó casi en el mismo horario, en tanto que la HR mínima para el muro con SAI se registró varias horas después con una diferencia en tiempo de 5 horas. Además la HR relativa disminuyó más en el

### Orientación Sur

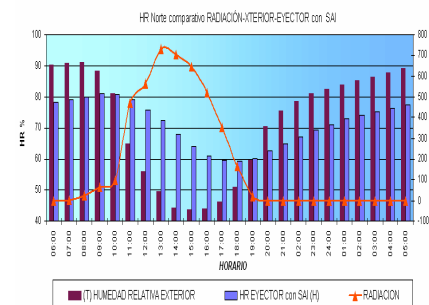
Para la orientación Sur en el muro con SAI la temperatura presentó sus máximas temperaturas entre las 17:00 y 18:00hrs con un desfazamiento horario de las máximas registradas en el aire exterior (GRAF. IV.111 y IV.112). Para la hora en que se registraron las temperaturas máximas, la radiación había disminuido considerablemente. En cuanto a la HR se registró que en los momentos de mayor radiación la HR en el aire exterior disminuyó casi en el mismo horario, en tanto que la HR mínima para el muro con SAI se registró 4 horas después.

### Orientación Este

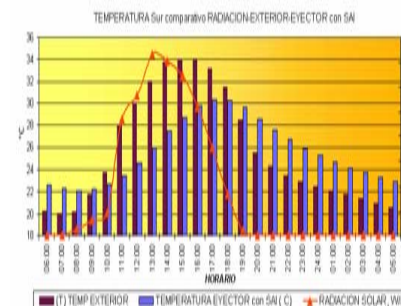
Para la orientación Este en el muro con SAI la temperatura presentó sus máximas temperaturas entre las 17:00 y 18:00hrs con el mismo desfazamiento horario que se registró en las otras orientaciones y con horario una disminución considerable de la radiación, puesto que la máxima tipificada se presentó a las 13:00hrs (GRAF. IV.113 y IV.114). Durante los momentos de mayor radiación la HR en el aire exterior disminuyó casi en el mismo horario, y la HR mínima para el muro con SAI se registró 4 horas después de la máxima radiación.



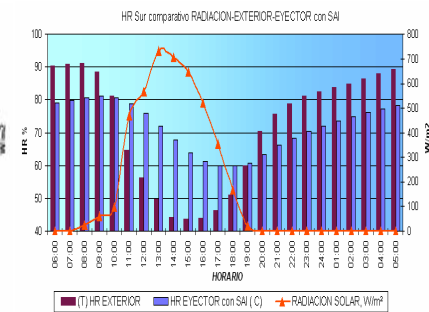
GRAFICA IV.109 Comportamiento horario de la radiación con la temperatura del aire exterior y el muro con SAI Norte.



GRAFICA IV.110 Comportamiento horario de la radiación con la HR del aire exterior y el muro con SAI Norte.



GRAFICA IV.111 Comportamiento horario de la radiación con la temperatura del aire exterior y el muro con SAI Sur.



GRAFICA IV.112 Comportamiento horario de la radiación con la HR del aire exterior y el muro con SAI Sur.

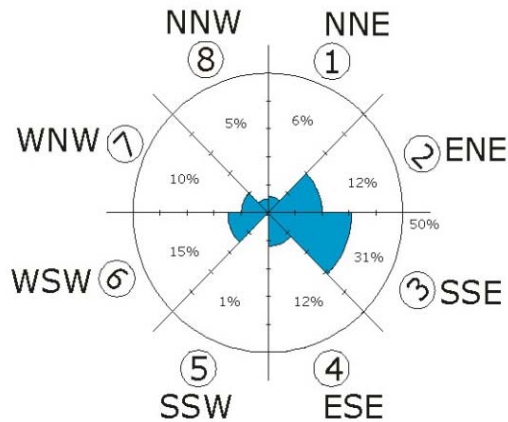
**Orientación Oeste**

En la orientación Oeste, el comportamiento de la Radiación, la temperatura y HR de la zona de eyección en el muro con SAI, se comportó relativamente igual que las demás orientaciones (GRAF. IV. 115 Y IV.116).

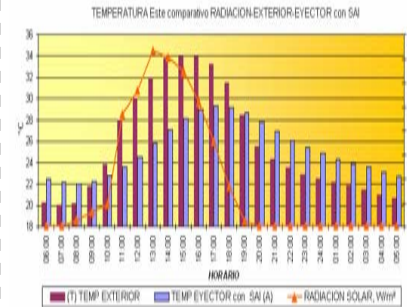
**IV.2.2.10 Comportamiento del viento**

En esta sección se obtuvieron y tipificaron los patrones de comportamiento del viento, para inferir cómo influyen en el comportamiento del SAI.

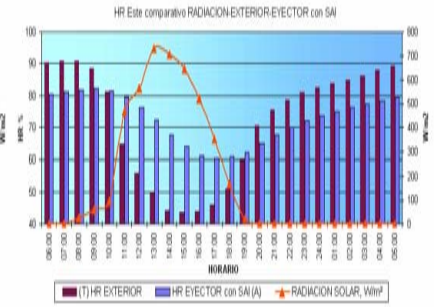
Los datos del viento registraron que la mayor parte del tiempo los vientos dominantes provienen del sur-sureste, seguido del este-noreste (ESQ.2).



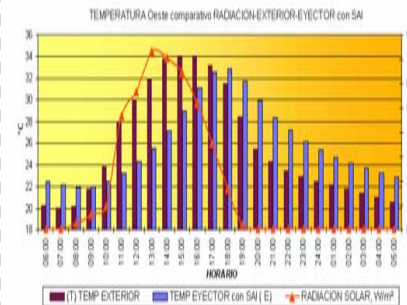
ESQUEMA 2. Rosa de los vientos tipificada para la investigación. Vientos dominantes para el caso de estudio.



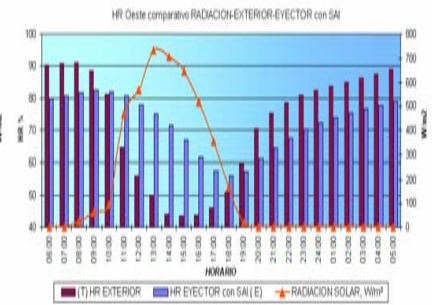
GRAFICA IV.113 Comportamiento horario de la radiación con la temperatura del aire exterior y el muro con SAI Este



GRAFICA IV.114 Comportamiento horario de la radiación con la HR del aire exterior y el muro con SAI Este.



GRAFICA IV.115 Comportamiento horario de la radiación con la temperatura del aire exterior y el muro con SAI Oeste.



GRAFICA IV.116 Comportamiento horario de la radiación con la HR del aire exterior y el muro con SAI Oeste.





Este dato difiere de los registros proporcionados por el Instituto de Geografía de la UNAM que da como dato que los vientos dominantes provienen del Noreste<sup>1</sup> (ESQ. 3-5).

Otro dato importante es que estos vientos del sur-sureste se dieron principalmente en el horario matutino, en tanto que la predominancia este-noreste se dio en el horario nocturno.

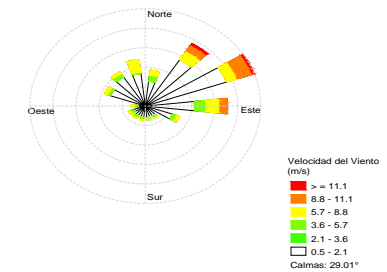
### IV.3 ANÁLISIS PSICROMÉTRICO

Se realizó el análisis psicrométrico para cada orientación del sistema eyector, en comparación con el análisis de comportamiento del aire de un día tipificado, en orden de verificar las diferencias de comportamiento entre el SAI y un día típico.

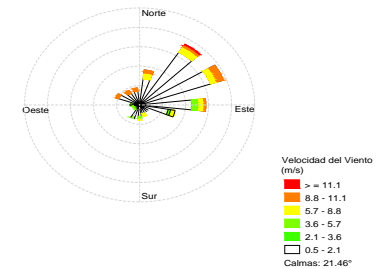
Este análisis nos permitió observar gráficamente el comportamiento del SAI en cada orientación y compararlo con las condiciones del aire exterior para determinar la diferencia entre ambos.

En todos los casos la temperatura y la HR del aire en el SAI se mantuvieron dentro de los límites del comportamiento del aire exterior (GRAF. IV.117-IV.120).

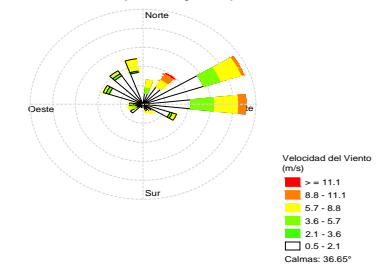
De acuerdo al análisis de las cartas psicrométricas pudo observarse que las condiciones de temperatura mínima de los muros con SAI son similares y con diferencias relativas a la mínima exterior para todas las orientaciones. La diferencia más notable se dio en las temperaturas máximas registradas en el SAI con respecto a las tipificadas en el aire exterior para la orientación Oeste, siendo la más elevada de acuerdo a la tipificación diaria del SAI. La HR máxima fue la más estable para todas las orientaciones, en tanto que la HR mínima con mayor diferencia de acuerdo al comportamiento diario fue la orientación Oeste.



ESQUEMA 3. Rosa de los vientos de los datos combinados del observatorio meteorológico de la CNA y el aeropuerto de Villahermosa, Tabasco durante 2003



ESQUEMA 4. Rosa de los vientos del observatorio meteorológico de la CNA de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, en la colonia Gaviotas, del primer semestre de 2003 (enero-junio)



ESQUEMA 5. Rosa de los vientos del observatorio del aeropuerto internacional de Villahermosa, Tabasco, del segundo semestre del 2003 (julio-diciembre)

<sup>1</sup> VALDÉS Manzanilla et al., *SIMULACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SO2 EMITIDO POR FUENTES FIJAS MAYORES 2003 EN EL NOROESTE DE CHIAPAS Y CENTRO DE TABASCO*, MÉXICO, en Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/vol. 24, num 002, pp.71-77 UNAM, México 2008

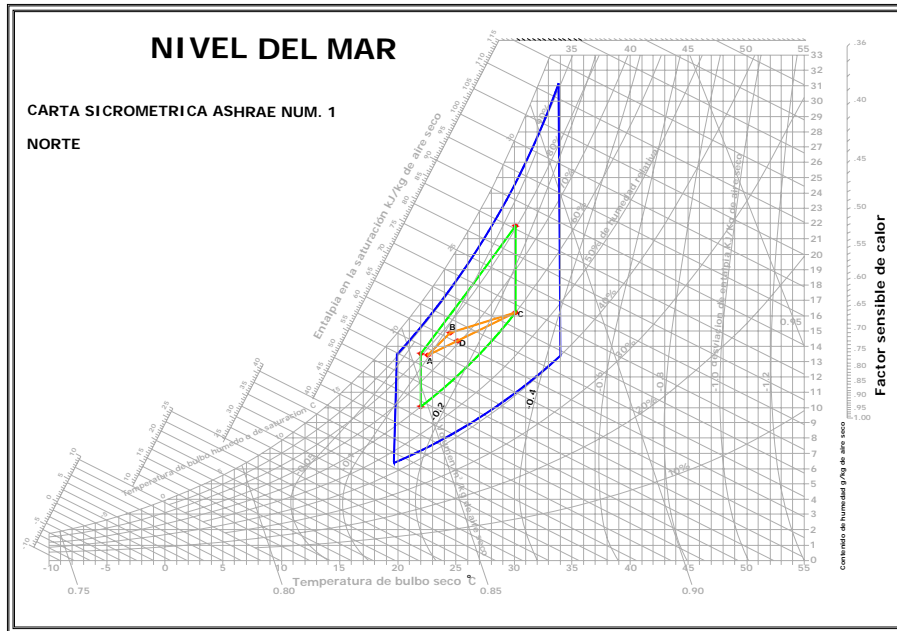


Tabla que presenta el comportamiento del muro Norte con SAI en horario tipificados específicos.

	06:00	12:00	18:00	00:00		
	A	B	C	D	MÁX	MÍN
°C	22.6	24.5	30.1	25.3	30.1	22.0
% HR	78	76	60	71	81	60

- comportamiento horario del SAI
- Comportamiento diario tipificado del SAI
- comportamiento climático diario tipificado

GRÁFICA IV.17 CARTA PSICROMÉTRICA Muro Norte con SAI

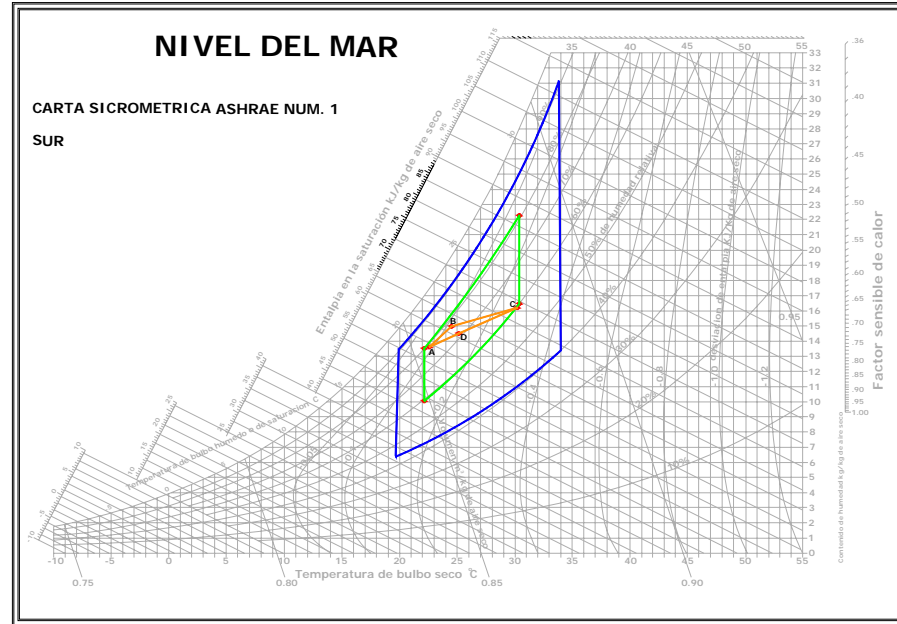


Tabla que presenta el comportamiento del muro Sur con SAI en horario tipificados específicos.

	06:00	12:00	18:00	00:00		
	A	B	C	D	MÁX	MÍN
°C	22.6	24.6	30.2	25.3	30.3	22.1
% HR	79	76	60	72	81	60

- comportamiento horario del SAI
- Comportamiento diario tipificado del SAI
- comportamiento climático diario tipificado

GRÁFICA IV.18 CARTA PSICROMÉTRICA Muro Sur con SAI

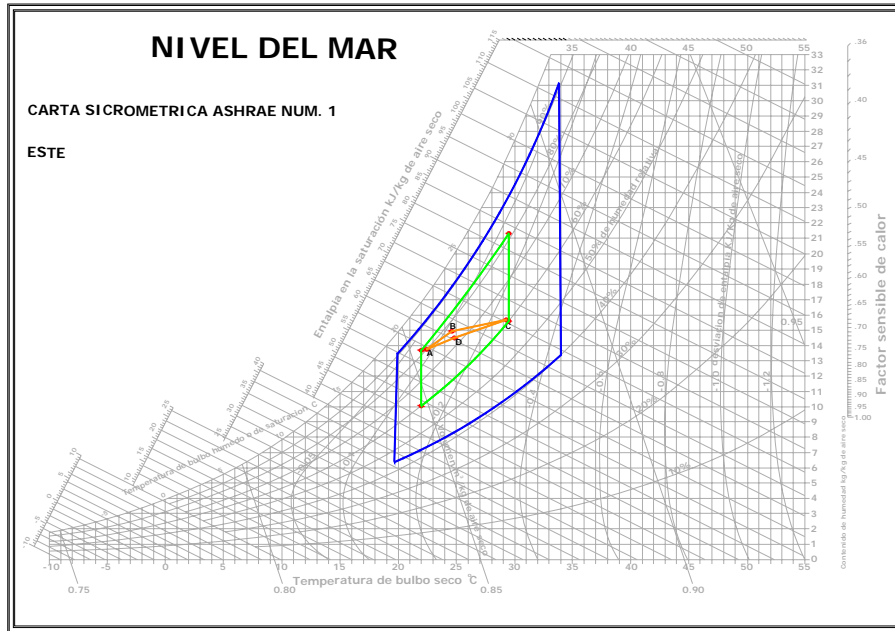


Tabla que presenta el comportamiento del muro Este con SAI en horario tipificados específicos.

	06:00	12:00	18:00	00:00		
	A	B	C	D	MÁX	MÍN
°C	22.5	24.6	29.2	24.9	29.4	22.0
% HR	80	76	61	74	82	60

— comportamiento horario del SAI  
— Comportamiento diario tipificado del SAI  
— comportamiento climático diario tipificado

GRÁFICA IV.19 CARTA PSICROMÉTRICA Muro Este con SAI

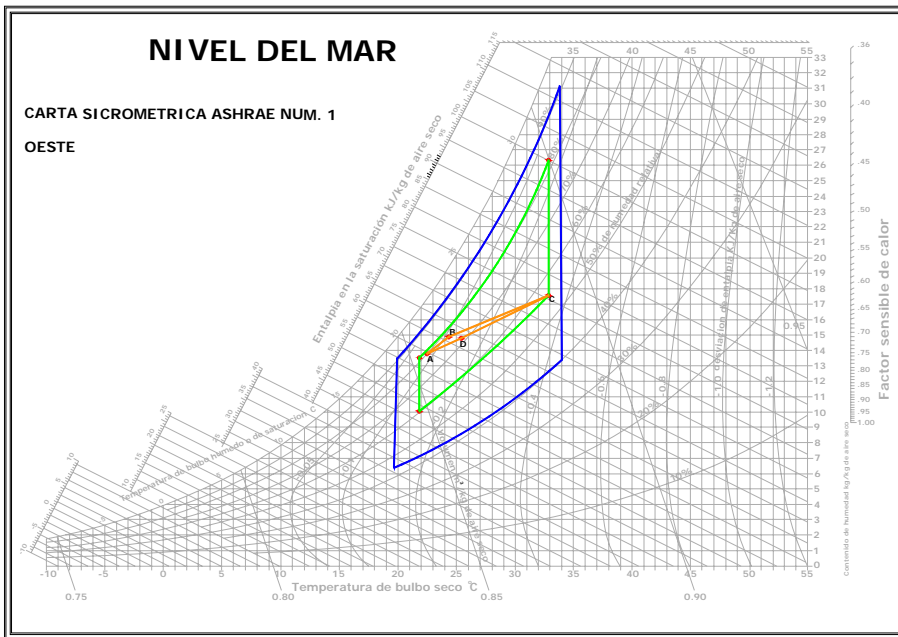


Tabla que presenta el comportamiento del muro Oeste con SAI en horario tipificados específicos.

	06:00	12:00	18:00	00:00		
	A	B	C	D	MÁX	MÍN
°C	22.5	24.3	32.9	25.4	32.9	21.9
% HR	80	78	56	72	82	56

— comportamiento horario del SAI  
— Comportamiento diario tipificado del SAI  
— comportamiento climático diario tipificado

GRÁFICA IV.20 CARTA PSICROMÉTRICA Muro Oeste con SAI



#### IV.4 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

##### Norte

- Sí se logró una diferencia menor entre el muro con SAI y el medio ambiente, en relación al muro sin SAI.
- No se logró que la HR fuese más baja en el muro con SAI que en el muro sin SAI.
- Si se logró la disminución de temperatura del punto de inyección al punto de eyección, fenómeno que no se presentó en el muro sin SAI.

##### Sur

- Sí se logró una diferencia menor entre el muro con SAI y el medio ambiente, en relación al muro sin SAI.
- No se logró que la HR fuese más baja en el muro con SAI que en el muro sin SAI.
- Si se logró la disminución de temperatura del punto de inyección al punto de eyección, fenómeno que no se presentó en el muro sin SAI.

##### Este

- Sí se logró una diferencia menor entre el muro con SAI y el medio ambiente, en relación al muro sin SAI.
- No se logró que la HR fuese más baja en el muro con SAI que en el muro sin SAI.
- Si se logró la disminución de temperatura del punto de inyección al punto de eyección, fenómeno que no se presentó en el muro sin SAI.



## Oeste

- Sí se logró una diferencia menor entre el muro con SAI y el medio ambiente, en relación al muro sin SAI.
- No se logró que la HR fuese más baja en el muro con SAI que en el muro sin SAI.
- Sí se logró la disminución de temperatura del punto de inyección al punto de eyección, fenómeno que no se presentó en el muro sin SAI.

Las disminuciones de humedad relativa esperadas entre el muro sin SAI y el muro con SAI no se lograron en la mayoría de los casos mas que para la orientación Sur y Este que son las que reciben directamente la zona de presión del viento.

Aunque la humedad relativa no fue menor en los muros con SAI, sí fue menor que la del medio ambiente.

Se infiere que la humedad fue tomada del material al aire de la cavidad y no desde el exterior, ya que en los puntos de inyección, si se registró que la HR era más baja en los muros con SAI que la de los muros sin SAI.

Este fenómeno abre la oportunidad para estudiar el fenómeno analíticamente y determinar el mayor riesgo de condensación en la pared interna o la pared externa además de determinar si hay mayor o menor riesgo en el muro sin SAI o en el muro con SAI, proceso que reafirmaría, de ser positivo el resultado, la valides del funcionamiento del SAI.

## Costos

Considerando un local con 38.4m<sup>2</sup> de muro, se tiene:

Gastos corriente por mantenimiento \$2150.00 (dos veces por año)

Total al año e \$4300.00 (de acuerdo al tiempo de deterioro observado a priori)

Costo inicial del SAI \$3239.00



Amortización: considerando que el mantenimiento habitual se realice una vez por año, se tiene un tiempo de amortización de año y medio

A partir de ese tiempo el gasto de mantenimiento del SAI corresponde a un 7% de su valor inicial, lo que representa \$227.00 por año

De tal forma el ahorro anual en mantenimiento se obtiene con el costo de una vez al año más el costo anual de mantenimiento del SAI, siendo en total \$2377.00 anuales.



## CAPITULO V

# CONCLUSIONES







## V. CONCLUSIONES

La hipótesis planteó dos situaciones:

- 1.- Que la diferencia de temperatura entre el muro con SAI y el medioambiente fuera menor que la diferencia entre el muro sin SAI y el medioambiente.
- 2.- Que la humedad relativa en el muro con SAI fuera menor que la del muro sin SAI.

El punto uno sí se logró, las diferencias fueron menores entre los muros con SAI y el aire exterior con respecto a las registradas entre el muro sin SAI y el aire exterior. Las menores diferencias se registraron en la orientación Este, seguida por la Norte, la Sur y la más alejada la Oeste.

Estas condiciones propicias pudieron deberse además de la eficiencia de la aireación a la posición del prototipo arquitectónico en el emplazamiento ya que la cara Este recibió sombra de la vegetación del lugar por la mañana. El Norte fue la segunda orientación que más cumplió con lo esperado, ésta orientación se vio beneficiada por la sombra, a pesar de no haberse registrado vientos provenientes de esa orientación que impactaran los muros y favorecieran el enfriamiento por convección y por la captación más eficiente de aire en el SAI. La orientación Sur, recibió el sol muy pocas horas del día debido a la latitud, y aunque no existió ningún elemento que le diera sombra, las horas de asoleamiento y la intensidad fueron menores que el muro Oeste, que fue el que presentó las diferencias de temperatura mayores, fue también la orientación que recibió mayor asoleamiento ya que en el emplazamiento no existe ningún elemento que le proyectara sombra, por lo que hacia el horario nocturno la carga térmica de este muro era mayor.



En el punto dos, la mayoría de las disminuciones se dieron de la red principal a las boquillas de inyección, hubo mayor intercambio de humedad con el medioambiente que durante el recorrido del aire por los diferentes puntos al interior del SAI. Así mismo, una vez que el aire recorrió la cavidad, la humedad relativa aumentó más para los muros con SAI, lo que permitió inferir, junto con la tipificación de los vientos, que cambiar la orientación de entrada de aire del norte hacia el sur-sureste y este-noreste posibilitará alcanzar con mayor eficiencia la disminución esperada.

Con respecto al funcionamiento del SAI y considerando que a menor rango de temperatura mayor estabilidad se puede concluir que:

#### 1ª Fase

De manera general, los rangos de temperatura fueron menores en los muros con SAI, siendo de menor a mayor el muro Oeste, el muro Sur, el muro Norte y el muro Este.

La humedad relativa presentó los rangos menores en el muro Oeste, seguido del muro Sur, el muro Norte y finalmente el muro Este.

Los comportamientos más estables durante un día típico, es decir con menores variaciones, tanto de temperatura como humedad relativa, se presentaron con mayor frecuencia en los horarios nocturnos, en los muros con SAI.

Los resultados de la primera fase fueron estadísticamente positivos para la validación de la hipótesis y delinearon algunos cambios en el SAI para su mejora. Presentándose un 40% de resultados positivos, un 30% de resultados no definitivos, lo que suman un 70% y un 30% de resultados que invalidan la hipótesis.



## 2ª Fase

Las diferencias de temperatura entre la zona de inyección y la zona de eyección sí se dieron. La HR relativa presentó patrones similares para todas las orientaciones, a excepción del muro Este sin SAI.

La orientación que presentó disminuciones mayores de temperatura entre la zona de inyección y la zona de eyección fue el muro Oeste con SAI, seguido por el muro Sur y Norte, y al final el muro Este que sólo presentó los resultados esperados para el horario nocturno.

En la comparación de los resultados por zona entre los muros sin SAI y los muros con SAI, pudo determinarse que cada orientación tuvo diferente comportamiento.

Todas las orientaciones resultaron conforme a lo esperado en la zona de eyección, siendo en todos los casos más baja la temperatura en los muros con SAI. Aunque se esperaba que en cualquier punto del muro la temperatura presentara registros más bajos en el muro con SAI que en el muro sin SAI, esto ocurrió limitándose de la zona de inyección a la zona de eyección, por lo que se plantea que si se mejora la captación de aire en la red principal orientando específicamente las boquillas en dirección sur-sureste los resultados para el funcionamiento del SAI presentarán mejoría.

Un punto importante que permitió éste análisis fue verificar que la HR del aire nocturno fue más baja en las cavidades de los muros que la registrada en el aire exterior.

Entre el aire de la red principal y el aire eyectado, de manera general para todas las orientaciones se registró una disminución de la HR, la disminución en la temperatura fue más limitada, siendo nula para el muro Oeste con SAI.

Las diferencias favorables para el SAI entre la red de captación principal y la zona de eyección se presentaron en horarios cortos, y en un análisis a menor escala,



entre la zona de inyección y la zona de eyección los resultados presentaron mayormente esa disminución esperada. A pesar de que el muro Oeste no presentó las diferencias esperadas en ningún horario, fue en el que mejores resultados se obtuvieron de la zona de inyección a la zona de eyección.

En todas las orientaciones el patrón de comportamiento diferencial entre el microclima y el aire eyectado fue similar, siendo más elevadas las temperaturas registradas en el microclima en todas las orientaciones, así como la HR.

El comportamiento diferencial de la temperatura entre el aire exterior y la zona de eyección en los muros fue muy similar para todas las orientaciones y la disminución de diferencias entre el muro con SAI y la temperatura exterior sí se logró en todas las orientaciones para el horario nocturno.

Para la HR el comportamiento diferencial entre el aire exterior y la zona de eyección en los muros se mantuvo relativamente con el mismo patrón para todas las orientaciones, siendo más altos los registros del aire exterior de 10:00 a 18:00hrs y manteniéndose más bajos durante todo el horario nocturno y el resto del horario matutino.

La diferencia entre el comportamiento del microclima y el del aire exterior influyó en el SAI dándose en todas las orientaciones la posibilidad de pérdida de calor del SAI al ambiente exterior en el horario nocturno, basándonos en el planteamiento

$$\Delta T = T_a - T_m$$

*Si  $\{T_a < T_m\} \rightarrow T_m$  disminuye y condensa*

*A mayor  $\Delta T$  mayor riesgo de condensación*

*Norte*



$$T_a=23.6^{\circ}\text{C}, \quad T_m=26^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T_{Nor}=2.4^{\circ}\text{C}$$

*Sur*

$$T_a=23.6^{\circ}\text{C}, \quad T_m=25.9^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T_{Nor}=2.3^{\circ}\text{C}$$

*Este*

$$T_a=23.6^{\circ}\text{C}, \quad T_m=25.5^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T_{Nor}=1.9^{\circ}\text{C}$$

*Oeste*

$$T_a=23.6^{\circ}\text{C}, \quad T_m=26.6^{\circ}\text{C}, \quad \Delta T_{Nor}=3.0^{\circ}\text{C}$$

Considerando el promedio de las temperaturas en el horario nocturno de un día tipificado, el riesgo de condensación de mayor a menor fue el muro Oeste, Norte, Sur, Este.

Los patrones de radiación obtenidos mostraron un desfazamiento similar para todas las orientaciones, por lo que la influencia de la radiación en el comportamiento del SAI, fue poco determinante por orientación. Es decir, el comportamiento entre la curva de temperatura del aire y la radiación fue muy semejante, no así con el comportamiento de los muros, para los que se obtuvieron desfazamientos horarios diferentes por orientación. En cuanto a la HR se registró que en los momentos de mayor radiación la HR en el aire exterior disminuyó casi en el mismo horario, en tanto que la HR mínima para el muro con SAI se registró varias horas después. Además la HR relativa disminuyó más en el aire que la contenida en el muro con SAI.

La influencia que tuvo el comportamiento del viento en el funcionamiento del SAI, quizá fue la más determinante, ya que una vez obtenidos los registros el comportamiento del viento se registró una predominancia del sur-sureste. De La proveniencia del viento se infiere que los estudios de dirección dominante deben realizarse con anterioridad al planteamiento de la red de captación



principal, en lugar de considerar la orientación solar como la determinante para el emplazamiento.

La diferencia de eficiencia por los recorridos y pérdidas de presión durante el trayecto del aire inyectado, no resultó notable o apreciable, por lo que se sugiere que se coloquen manómetros en dos puntos específicamente:

- 1) En las boquillas de inyección de aire, específicamente en el tubo más alejado del ramal de captación principal para cada orientación, y
- 2) En el punto de eyección central para cada orientación, en orden de medir la presión de entrada y salida del aire en el SAI.

La tendencia de la temperatura en el SAI siempre fue más estable que la del exterior, es decir se mantuvo dentro de los márgenes extremos localizados en la carta psicrométrica.

En la determinación de la eficiencia del SAI puede concluirse que es necesario replantear el modelo experimental en cuanto a las dimensiones de los diámetros del sistema de inyección.

Realizar un modelo analítico puede proporcionar datos importantes para la comprensión del fenómeno en orden de establecer parámetros que permitan en un futuro dimensionar anticipadamente el SAI para un caso específico.

### **Líneas de investigación derivadas**

Para la determinación de un modelo de SAI será necesario desarrollar otras fases de ésta investigación, que permitan establecer parámetros del sitio y condiciones climáticas diferentes.

Se sugiere para fases posteriores a esta investigación:



Cambiar los diámetros de entrada, recorrido y salida de aire, en orden de evitar pérdidas de presión y lograr eficientar el efecto Venturi.

Utilizando la ecuación para la tasa de aire dependiente del área de aberturas, tenemos que:

$$Q = C_4 C_v A V$$

En donde:

$Q$  = Tasa de aire en cfm

$C_v$  = eficacia de las aberturas (de 0.5 a 0.6)

$A$  = Area total de abertura en  $ft^2$

$V$  = velocidad de viento en mph

$C_4$  = factor de conversión de unidad = 88.0

Sustituyendo con las dimensiones del SAI estudiado

$$A = 0.01 ft^2 * 6 \text{ a boquillas} = 0.07 ft^2$$

$$V = 1.57 mph$$

$$Q = (88) (0.6) (0.07) (1.57) = 5.80 cfm$$

Con base en ello, si se proponen boquillas de 2" de diámetro se obtendría:

$$A = 0.02 ft^2 * 6 \text{ boquillas} = 0.12 ft^2$$

Con la misma velocidad de viento, entonces tenemos que:

$$Q = (88) (0.6) (0.12) (1.57) = 9.9 cfm$$



Suponiendo 6 boquillas de 2" con una velocidad de viento de hasta 8.3 mph, según datos registrados, se obtiene:

$$Q = (88) (0.6) (0.12) (8.3) = 52.58 \text{ cfm}$$

A 8.3 mph es de acuerdo a la escala de Beaufort una velocidad moderada, este incremento en la velocidad aumenta la eficiencia en la renovación del aire en la cavidad de los muros.

Aumentar el diámetro de las boquillas para incrementar la velocidad del aire puede ser una estrategia, debe sin embargo considerarse aumentar la velocidad por diferencia de presión, ya que el viento es un factor o elemento inconsistente por sí mismo, por ello se propone experimentar con colectores solares.

- Los resultados sugieren que se abra una línea de investigación en donde el principio de los colectores solares sea aplicado, en orden de aumentar la diferencia de presiones, el flujo de aire por flotación y por diferencia de temperaturas, para que el sistema funcione por más horas durante el día, ya que el colector conservaría esa diferencia de temperaturas posteriores a las horas de asoleamiento con una duración directamente proporcional a la eficiencia del propio colector.
- El tipo de colector que se sugiere es plano protegido y trabajaría en conjunto con la tubería del sistema de eyección. Sin embargo, ésta tecnología deberá utilizarse para obtener mayores beneficios como agua caliente o para refrigeración de manera que amortice su costo en un tiempo razonable, pues uno de los problemas que actualmente enfrentan los colectores solares es la subutilización en los meses de verano.

Medir en las caras internas y externas de los muros, lo que permitirá desarrollar la ecuación para el riesgo de condensación superficial en cerramientos de acuerdo a la Norma Básica de la Edificación, anexo 4 sobre temperaturas y





condensaciones en cerramientos<sup>1</sup>, para tener un planteamiento analítico y gráfico ideal que contraste con la experimentación.

Cubrir más del sol las boquillas de inyección de tomas de aire principales.

- Se sugiere que las boquillas conserven la orientación Norte para nuestra latitud, pero que según el caso de estudio observe la orientación con mayor número de horas en sombra, inclusive probando su eficiencia al ser enterradas por debajo de los 20 cm, sopesando las posibles disminuciones en el flujo por pérdidas de presión debidas a las vueltas del recorrido.

Colocar la red de captación principal de aire en una zona más alta, esperando no arrastrar hacia el interior el aire caliente de la superficie del suelo.

- Una vez que se obtuvieron los resultados de la temperatura del aire captado en la red principal, se observó que ésta fue más alta que la del aire circundante, por lo que se sugiere colocar la red principal de 40 a 120 cm del suelo esperando encontrar un punto eficiente, de acuerdo al uso de instrumentos meteorológicos 120 cm es la altura recomendable para que no influya el calor del suelo.
- Colocar las boquillas por encima del nivel del techo permitiría captar mayor aire y compensar con ello las pérdidas de presión por la longitud de la tubería.

La utilización de manómetros en los puntos de inyección, en la fase intermedia del recorrido del aire inducido.

- Determinar con qué presión entra y sale el aire, o recorre el sistema al experimentar con diferentes diámetros, permitirá conocer la presión que el flujo de aire ejerce en las cavidades del SAI para cada orientación obteniendo mejor control y especificación en el dimensionamiento de las aberturas.

---

<sup>1</sup> CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN CTE, Ministerio de Vivienda, Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda & Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSCI, CTE, España, 2006

La principal ventaja del SAI, es su bajo costo de materiales y fácil realización.

Con una amortización de 18 meses, y un ahorro del 55% anual en mantenimiento

Como ventaja global se tiene la protección al medio ambiente que se deriva de cada acción que supone mejores condiciones de habitabilidad con menores recursos materiales y económicos, lo que sucede si se disminuye el gasto corriente por mantenimiento durante la vida útil del edificio.





## **BIBLIOGRAFÍA**



## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- AAVV, *CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN CTE*, Ministerio de Vivienda, Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de Vivienda & Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, CSCI, CTE, España, 2006.
- AAVV, *REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS EN EDIFICACIONES. RITE (RD 1027/2007)*, España, 2007.
- BEST, Brown Roberto: *PRINCIPIOS Y APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR*, Centro de Educación Continua, División de Estudios Superiores, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 1979.
- CZAJKOWSKI Jorge D. et E. Rosenfeld, *CONDICIONES HIGROTÉRMICAS MÍNIMAS DE MUROS Y TECHOS PARA LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES*, 16ª reunión de Trabajo de ASADES, La Plata, Argentina, 1993.
- DÍAZ Rodolfo; Morillón David: *COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN DIFERENTES REGIONES CLIMÁTICAS DEL PAÍS*, Memorias de la XXIII Semana Nacional de Energía Solar, ANES, Morelia, Mich., 1999
- ERNESTO Lorenzo Romeo: *CLIMATIZACIÓN PASIVA DE EDIFICACIONES MEDIANTE CONDUCTOS ENTERRADOS*. Potencialidades de aplicación en Venezuela, 6º Congreso Internacional de Construcción Sostenible, Universidad Central de Venezuela, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Venezuela, 2007.
- ESTEBAN Saiz José Luis: *AISLAMIENTO TÉRMICO DE CERRAMIENTOS*, Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México, 1993.
- GALINDO Estrada Ignacio: *IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL EN LA REPUBLICA MEXICANA, VALORES HORARIOS MEDIOS*, en Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México 1996
- GARCÍA Chávez et Allard Francis, *OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE LA VENTILACIÓN NATURAL EN LAS EDIFICACIONES*, en Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México, 1996.
- GONZÁLEZ E., *SOBRE EL ENFRIAMIENTO PASIVO EN EDIFICACIONES: PROYECTOS EN DESARROLLO EN EL IFAD-LUZ, IFAD*, Universidad de Zulia, Venezuela, 2002.
- KENNETH Wark et Donald E. Richard, *TERMODINÁMICA*, 6a Edición, Mc Graw Hill, Madrid, España, 2006.
- KOENISBERGER Ingersoll, Mayhew, Szokolay., *VIVIENDAS Y EDIFICIOS EN ZONAS CÁLIDAS Y TRÓPICALES*, Ed. Paraninfo, Madrid, 1977.
- LÓPEZ Aída, et. Al., *APLICACIÓN DE LA NOM-008-ENER-2001 EN EDIFICIOS DE ENSEÑANZA DE LA DAIA*, Cunduacán, Tabasco, 2004.
- LÓPEZ Campos Carlos E., *FÍSICA DE LA ENERGÍA SOLAR*, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1990.
- MANUEL DE ANDA y Flores, *MODELO PARA EL CÁLCULO DE EXTRACCIÓN DE CALOR PARA EL USO DE SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN CONVENCIONALES*, Tesis doctoral, Programa de Doctorado en Ingeniería, UNAM, México, 1999.
- MARINCIC Irene, *RESPUESTAS TÉRMICAS DINÁMICAS EN EDIFICIOS*, Tesis doctoral, Universidad Politécnica De Cataluña, Barcelona, España, 1999.
- MAZRIA E., *EL LIBRO DE LA ENERGÍA SOLAR PASIVA, TECNOLOGÍA Y ARQUITECTURA*, Ed.GG, México, 1979.

- MEJÍA Domínguez David, *DISEÑO Y EVALUACIÓN DEL CENTRO SOLAR EN ARQUITECTURA*, Tesis doctoral, Programa de posgrado Arquitectura, UNAM, México, 2002.
- MERKIN J.H et Chauchany M.A.: *CONVECCIÓN NATURAL EN FLUJO DE CAPA LÍMITE EN UNA SUPERFICIE VERTICAL*, titulo original FREE CONVECTION BOUNDARY LAYERS ON VERTICAL SURFACES DRIVEN BY AN EXOTHERMIC REACTION, *Quart. J. Mechanics and Applied Math.*, 47, 405-428,1994.
- MORILLÓN David, *BIOCLIMÁTICA, SISTEMAS PASIVOS DE CLIMATIZACIÓN*, Universidad de Guadalajara, México, 1993.
- MORILLÓN David, *ESTUDIO DE LA CONVECCIÓN NATURAL ACOPLADA A UN MURO ALMACENADOR DE CALOR EN FLUJO TRANSITORIO*, Tesis doctoral, Programa de posgrado en Ingeniería, UNAM, México, 1998.
- MORILLÓN David, *SISTEMAS PASIVOS DE ENFRIAMIENTO*, Notas del curso de Sistemas Pasivos, Guadalajara, México, 2002.
- REZA Lagunas Manuel Guillermo, *PROGRAMA PARA EL CÁLCULO TÉRMICO DE UNA EDIFICACIÓN Q*, Tesis doctoral, Programa de posgrado Arquitectura, UNAM, México, 1998.
- RIVAS Ramírez Daniel, *MODELO DEL CÁLCULO TÉRMICO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN EDIFICACIÓN*, Tesis doctoral, Programa de posgrado Arquitectura, UNAM, México, 2000.
- RODRÍGUEZ V. y Freixanet V, *CÁLCULOS BÁSICOS PARA ESTIMAR LA VENTILACIÓN CRUZADA EN EDIFICACIONES*, Memorias de la Semana Nacional de Energía solar, ANES, México 2003.
- RODRÍGUEZ V. y Freixanet V, *VENTILACIÓN NATURAL EN ARQUITECTURA*, en Memorias de la Semana Nacional de Energía solar, ANES, México 2002.
- RODRÍGUEZ Viqueira Manuel, *EL VIENTO COMO CONCEPTO DE DISEÑO EN LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA CONTEMPORÁNEA*, Memorias de la Semana Nacional de Energía solar, ANES, México 1999.
- ROJAS, José A: *OBTENCIÓN DE PROPIEDADES ÓPTICAS Y TÉRMICAS DE ALGUNOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. Tesina especialización en heliodiseño, UNAM, México, 1992.
- SALAS, Espíndola Hermilo, *EL IMPACTO DEL SER HUMANO EN EL PLANETA*, EDAMEX, México, 1997.
- SAMANO Diego; Morillón David; Muñiz Ramón: *LA RADIACIÓN SOLAR Y EL EFECTO DE LA INERCIA TÉRMICA DE LOS SISTEMAS PARA LA CLIMATIZACIÓN DE ESPACIOS*, Memorias de la XVII Semana Nacional de Energía Solar, ANES Colima, México, 1993.
- SCHITTICH Christian et Szokolay Steven Vajk, *INTRODUCTION TO ARCHITECTURAL SCIENCE: THE BASIS OF SUSTAINABLE DESIGN*, Elsevier Architectural, Amsterdam, 2004.
- SERRA Rafael, *ARQUITECTURA Y CLIMAS*, Ed. GG, Barcelona, España, 1999.
- STREETER Víctor L. et Wylie E. Benjamin, *MECÁNICA DE LOS FLUIDOS*, 6a ed. Mc Graw Hill, México, 1979.
- VALDÉS Manzanilla et al., *SIMULACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE SO2 EMITIDO POR FUENTES FIJAS MAYORES 2003 EN EL NORESTE DE CHIAPAS Y CENTRO DE TABASCO MÉXICO*, en Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/vol. 24, num 002, pp.71-77 UNAM, México 2008.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- AAVV, *ATLAS DEL AGUA DE LA REPÚBLICA MEXICANA*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, 1972.
- AAVV., *BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA*, Secretaria de Energía, Dirección General de Política y Desarrollo Energético, México, 2007.
- AAVV., *NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-008-ENER-2001, EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES, ENVOLVENTE DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES*, Secretaria de Energía, Diario Oficial de la Federación, México, 2001.
- AAVV., *NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM-020-ENER-2001*, Secretaría de Energía, México, 2001.
- ALEMANY Alba, et al., *CLIMATOLOGÍA, ILUMINACIÓN Y ACÚSTICA APLICACIÓN EN LA ARQUITECTURA.*, Edición del Departamento de Edificación del ISPJAE, La Habana, Cuba, 1986.
- ALMANZA Estrada, Barrientos, *ACTUALIZACIÓN DE LOS MAPAS DE IRRADIACIÓN GLOBAL SOLAR EN LA REPÚBLICA MEXICANA*, Instituto de Ingeniería UNAM, México, 1992.
- AMERICAN Society of Heating, *REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS ASHRAE, HANDBOOK FUNDAMENTALS*, Atlanta, U.S.A, 1997.
- ANDERSON Bruce, *GUÍA FÁCIL DE LA ENERGÍA SOLAR PASIVA*, Ed. GG, México, D.F. 1984.
- ALPUCHE Guadalupe, *LA EXERGIA*, Tesis doctoral, Centro de Investigaciones de Energía, UNAM, Temixco, México, 2002.
- AVILA Francisco E., Vargas Benjamín, Morillon, David., Barrios María del Pilar.- *ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO A TRAVÉS DE UN MEDIO POROSO*. Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México, 1996.
- BALTAZAR Juan C.; Rodríguez, Juan M., *PARASOL V1.0 PROGRAMA DE COMPUTO PARA DISEÑO DE PROTECCIÓN SOLAR*, Memorias de la XXI Semana Nacional de Energía Solar, ANES, Chihuahua, Chihuahua. México, 1997.
- BANHAM Reyner, *LA ARQUITECTURA DEL ENTORNO BIEN CLIMATIZADO*, Infinito, Buenos Aires, Argentina, 1975.
- BARDOU Patrick; Varoujan Arzoumanian, *SOL Y ARQUITECTURA*. Ed. GG, Barcelona, España. 1981 3ª Edición, 1984.
- BECERRIL Naranjo Sergio.- *DEL SOL A LA ARQUITECTURA*. Ed. GG, Barcelona, España, 1987.
- BELTRAN de Q. Miguel.- *EL SOL EN LA MANO*. UNAM. México, 1987.
- BROWN G.Z.- *SOL, LUZ, VIENTO ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO*. Trillas, México, 1994.
- CALDERON Roberto, Gallegos Ricardo., Comparán Germán, *EVALUACION DE RETARDANTES TERMICOS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEXICALI*, en Memorias de Semana Nacional de Energía Solar, ANES, MEXICALI B. C. México.
- CAMUS Roger y Donald Watson, *EL HÁBITAT BIOCLIMÁTICO*, Ed. GG, Barcelona, España, 1983.
- CERVANTES De Gortari Jaime, *FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR*, Fondo de Cultura Económica. México, 1999.
- COLLIEU Antony Mc B. et Powey Derek J, *PROPIEDADES MECÁNICAS Y TÉRMICAS DE LOS MATERIALES*, Reverté, España, 1977.
- CORNOLDI Adriano; Los Sergio, *HABITAT Y ENERGÍA*, Ed. GG, Barcelona, España, 1982.
- DAVIS Morris Grenfell, *BUILDING HEAT TRANSFER*, John Wiley & Sons LTD. USA, 2004.

- DIZ Finck Hugo M., *GEOMETRIA DESCRIPTIVA II*, Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. México, 1995.
- ECO Humberto, *CÓMO SE HACE UNA TESIS. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN, ESTUDIO Y ESCRITURA*, Gedisa, 22ª edición, Barcelona, España, 1998.
- ESTEBAN Saiz José Luis, *PRINCIPIOS GENERALES DEL AISLAMIENTO TÉRMICO EN INSTALACIONES*, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, España, 1986.
- FERNÁNDEZ Estrada, *CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR INSTANTÁNEA EN AL REPÚBLICA MEXICANA*. Instituto de Ingeniería, No.472, UNAM, México, 1983.
- FERNÁNDEZ García Raúl, *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*, Editorial Trillas, 2ª reimpresión, México D.F., 1983.
- FLORES Tritschler Enrique, *INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOGRÁFICOS EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO*, Memorias para el IX Congreso Nacional de Geografía, Guadalajara, Jalisco, Tomo I, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, Sesquicentenario de su Fundación. Guadalajara, Jalisco. México. 1983.
- GALLEGOS, Ricardo, Luna, Aníbal., Bojórquez, Gonzálo, *ESTIMACIÓN EXPERIMENTAL DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*, Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México.
- GALLOWAY, Terry R., *SOLAR HOUSE: A GUIDE FOR THE SOLAR DESIGN*, 2004.
- GARCÍA, Carlos A., *TERMODINÁMICA TÉCNICA*, Alsina. Buenos Aires, Argentina, 2002.
- GARCÍA, Chávez José Roberto; Fuentes Freixanet Víctor, *VIENTO Y ARQUITECTURA. EL VIENTO COMO FACTOR DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO*, Trillas, México, 1995.
- GARCÍA, Chávez José Roberto, *DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA AHORRO DE ENERGÍA Y CONFORT AMBIENTAL INTEGRAL*,. Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1996.
- GARCÍA, Chávez José Roberto, *TRÓPICO HÚMEDO*, Diseño Bioclimático, Universidad Autónoma Metropolitana, México. 1987.
- GARCIA, Enriqueta, *MODIFICACIONES AL SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE KÖPPEN*, UNAM, México, 1973.
- GARCÍA, Tavera José Luis.- *LA VEGETACIÓN COMO ELEMENTO DE CONTROL BIOCLIMÁTICO*. Universidad Autónoma Metropolitana, México D. F.
- GÓMEZ Morales Benjamín y Ramón A. Ramírez, *ELEMENTOS BÁSICOS PARA EL MANEJO DE INSTRUMENTAL METEOROLÓGICO*, CECSA, México, 1987.
- GONZÁLEZ E. Hinz, E.; De Oteiz P Quirós, *PROYECTO, CLIMA Y ARQUITECTURA*. Gustavo Gilli, Vol.1,2,3, México, 1986.
- GÓNZALEZ Sandino Rafael y Jaime López Asiaín, *ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO DE LA ARQUITECTURA*, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla (ETSAS), Sevilla, España, 1994.
- GRIFFITHS John F., *APPLIED CLIMATOLOGY, AN INTRODUCTION*, Chapter 14 Climate and Building, Oxford University Press, U.S.A., 1976.
- HERNANDEZ Gómez Víctor Hugo.- *ESTUDIO DEL MURO ESCUDO A LA RADIACION SOLAR COMO SISTEMA PASIVO DE ENFRIAMIENTO Y PARTE DE LA ENVOLVENTE DE LA EDIFICACION*, Tesis doctoral, Posgrado de Ingeniería, UNAM, México, 2006.



- HERNÁNDEZ Sampieri Roberto, et al., *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*, Mc Graw Hill, México D.F., 1997.
- HILLER Marion, Beckman William, Mitchell John, *TRNSHD A PROGRAM FOR SHADING AND INSOLATION CALCULATION*, Building and Environment Magazine, N°35, Ed. Pergamon, 2000.
- INCROPEREA Frank P., *INTRODUCTION TO HEAT AND MASS TRANSFER*, J. Wiley, New York, U.S.A., 2002.
- JOHNSON Robert, *ESTADÍSTICA ELEMENTAL*, Trillas, 2a edición, México, 2007.,
- IZARD Jean-Louis y Alain Gouyot, *ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA*,. Ed. GG., México D.F., 1983.
- KHALILA Rowe Kisha., *VENTILACION NATURAL SEGÚN MORFOLOGÍA DE CASA. Tesis Doctoral*, Universidad de Colima, México, 2006.
- KAYS William Morrow, *CONVECTIVE HEAT AND MASS TRANSFER*, McGraw-Hill, México, 2005.
- KONYA Alan, *DISEÑO EN CLIMAS CÁLIDOS*, MANUAL PRÁCTICO, H. Blume, Madrid, España, 1981.
- LÓPEZ Cervantes Aída, *AMBIENTE TÉRMICO EN ESPACIOS EXTERIORES, Comportamiento Térmico Ambiental de Parques en la ciudad de Mérida*, Tesis de maestría, UADY, Yucatán, México, 2001.
- MARTIN Monroy Manuel., *COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE CERRAMIENTOS SOLEADOS. MODELO DE SIMULACIÓN POR DIFERENCIAS FINITAS*, Resumen de tesis doctoral, Universidad de las Palmas de Gran Canaria, 1996.
- MEDINA Ibarra Fernando, *DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA CONDENSACIÓN DE HUMEDADES AMBIENTALE*, Tesis de licenciatura Ingeniería Mecánica Eléctrica, UNAM, 2006.
- MEINEL B. Aden, *APLICACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR*, Reverté, España, 1982.
- MEJÍA Domínguez David; MORILLÓN, Gálvez David; RODRÍGUEZ, Luis, *POTENCIAL ESTIMADO DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN AIRES ACONDICIONADOS MEDIANTE EL CONTROL SOLAR EN EDIFICACIONES*, Seminario Nacional sobre el uso Racional de la Energía, Asociación de Técnicas y Profesionistas en aplicación Energética A.C., 2001.
- MILLS A. F., *TRANSFERENCIA DE CALOR*; Versión en Español, McGraw-Hill/Irwin, Colombia, 1995.
- MORILLÓN David., Sámano, Diego., Fernández José Luis, *MURO ESCUDO A LA RADIACION SOLAR*, Semana Nacional de Energía Solar, ANES, México, 1995.
- MORILLÓN David, *NOTAS DEL CURSO DE ACTUALIZACIÓN DE ENERGÍA SOLAR*, UNAM, Temixco, Morelos, México, 1997.
- MORRIS Grainfell Davies, *HEAT TRANSFER BY AIR MOVEMENT*, John Wiley y Sons, LTD, Chichester, England, 2004.
- MURRIA R. Spiegel, *MANUAL DE FÓRMULAS Y TABLAS MATEMÁTICAS*. Mc Graw Hill, Colombia, 1998.
- OCHOA Manuel J.; Jaume Roset, *INFLUENCIAS DE LA VEGETACIÓN EN EL BALANCE ENERGÉTICO DE LOS ESPACIOS EXTERIORES URBANOS: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE SUS EFECTOS MICROCLIMÁTICOS*, en Memorias de MILLENIUM SOLAR FORUM 2000 ISES, Cd. De México, Asociación Nacional de Energía Solar, pp. 127-132 México 2000.
- OLGYAY Víctor, *ARQUITECTURA Y CLIMA, MANUAL DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO PARA ARQUITECTOS Y URBANISTA, título original DESIGN WITH CLIMATE*, Princeton New Jersey, Usa, 1ª ED 1963, Princeton University Press, Ed. GG, Barcelona, España, 1988.
- OLIVER John E., *CLIMATE AND MAN'S ENVIRONMENT, CLIMATE-ARCHITECTURE ANALYSIS AN INTRODUCTION TO APPLIED CLIMATOLGY*, Appendix 2, Department of Geography And Geology, Indiana State University Climatolgy, John Wiley & Sons Inc. U.S.A., 1973.

- OSIER Gobman Batson, *APRENDIENDO DELPHI 2 EN 21 DIAS*,. SAMS Publishing. 1996.
- PÉREZ Valenzuela Jesús B., *GUÍA PARA EL CONTROL DE ASOLEAMIENTO EN EDIFICACIONES*, Memorias de la XIX Semana Nacional de Energía Solar ANES, La Paz B.C.S., México, 1995.
- PIERRE Roberts Sabaday, *ARQUITECTURA SOLAR, CONCEPTO, CÁLCULO Y EDIFICACIONES SOLARES*, CEAC, Barcelona, España, 1989.
- POUJOL Galván Federico, *CONVECCION NATURAL EN CAVIDADES RECTANGULARES Y TRIANGULARES*, Tesis Doctoral, Instituto de Ingeniería de la UNM, México, 2001.
- PLASENCIA, Izquierdo Arturo.- *DISEÑO BIOCLIMÁTICO*. Universidad Autónoma del Estado de México, México, 1991.
- PUPPO Ernesto, GIANCARLO, *SOL Y DISEÑO*, Ed.Marcombo, España, 1976.
- PUPPO Ernesto, *ACONDICIONAMIENTO NATURAL Y ARQUITECTURA*, Ed. Marcombo, Barcelona, España, 1979.
- PUPPO Ernesto, *SOL Y VIENTO: INDICE TÉRMICO RELATIVO*, Alfa Omega, México, 1999.
- PUPPO Ernesto, *UN ESPACIO PARA VIVIR*, Alfa Omega, México, 1999.
- RAMÓN F., *ROPA, SUDOR Y ARQUITECTURA* Blume, Madrid, España, 1980.
- RAPOPORT Amos, *ASPECTOS DE LA CALIDAD DEL ENTORNO*, Ed. GG, Barcelona, España, 1974.
- REYES Raúl, *ESTRATEGIAS PASIVAS EN EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR APLICADAS A LA ARQUITECTURA*, Tesis doctoral, UNAM, México, 1989.
- ROBERTO, Best y Brown, *PROCESOS TÉRMICOS DE LA ENERGÍA SOLAR*, en Principios y Aplicaciones de la Energía Sola, CEC, 1979.
- RODRÍGUEZ T. Juan; Baltazar J., Cabrera D., *DETERMINACIÓN DE GRÁFICAS DE TEMPERATURA PARA EL DISEÑO DE PROTECCIÓN SOLAR*, Memorias de la XVIII Semana Nacional de Energía Solar. ANES, Hermosillo, Sonora, México, 1994.
- RODRIGUEZ Viqueira. Manuel, *INTRODUCCIÓN A LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA*, Limusa, UAM, México, 2001.
- SABADY Pierre Robert, *ARQUITECTURA SOLAR*, CEAC, Barcelona, España, 1982.
- SAENZ Ruiz Cesar V., Vilchis Cerón Marco A., *TERMOMETRÍA INFRAROJA APLICADA EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL*, Asociación, Nacional de Energía Solar, ANES, México, 1994.
- SERRA Florensa Rafael y H. Coch Roura, *ARQUITECTURA Y ENERGÍA NATURAL*, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 1995.
- SERRA Florensa Rafael, *EL CLIMA DEL AIRE Y DE LA HUMEDAD*, Ed. GG, Básicos, Barcelona, España, 2002.
- SERRA Rafael., *CLIMA LUGAR Y ARQUITECTURA: MANUAL DE DISEÑO BIOCLIMÁTICO*, Secretaria General Técnica de CIEMAT, México, 1989.
- SEVILLA, Alfonso, *ARQUITECTURA SOLAR PARA CLIMAS CÁLIDO*, 2000.
- STEADMAN, Philip, *ENERGÍA, MEDIO AMBIENTE Y EDIFICACIÓN*, H. Blume Editores, 2a edición en español, España, 1983.
- SZOKOLAY Steven Vajk, *ARQUITECTURA SOLAR*, H. Blume editores, Barcelona, España, 1983.
- SZOKOLAY Steven Vajk, *ENERGÍA SOLAR Y EDIFICACIÓN*, H.Blume, Barcelona, España, 1978.

- SZOKOLAY Steven Vajk, *INTRODUCTION TO ARCHITECTURAL SCIENCE: THE BASIS OF SUSTAINABLE DESIGN*, Elsevier Architectural, Amsterdam, 2004.
- TECLA Jiménez Alfredo, *EL MÉTODO ANTE LA INCERTIDUMBRE*, Ediciones Taller Abierto, 15ª. Edición, México, 2001.
- THRELKEL James L., *INGENIERÍA DEL ÁMBITO TÉRMICO*, título original *THERMAL ENVIROMENTAL ENGINEERING*, Rentice-Hall Internacional, Englewood, New Jersey, U.S.A., 1973.
- TUDELA Fernando, *ECODISEÑO*, colección *Ensayos*, UAM, 1982.
- VELASCO Montiel Fernando., DORANTES, Rodríguez Rubén, *ESTUDIO COMPARATIVO DE MODELOS DE SIMULACIÓN NUMÉRICA PARA EL DISEÑO TÉRMICO DE LAS EDIFICACIONES*. *Sema Nacional de Energía Solar*, ANES, México, 1997.
- VELASCO Sotomayor G., *ESTADÍSTICA CON EXCEL*, Trillas, México, 2005.
- VÉLEZ González Roberto, *DISEÑO BIOCLIMÁTICO Y ECOTÉCNICAS*, EVALUACIÓN Y DATOS PRÁCTICOS. Universidad Autónoma Metropolitana, México, 1990.
- VÉLEZ González Roberto, *LA ECOLOGÍA EN EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO*, DATOS PRÁCTICOS SOBRE DISEÑO BIOCLIMÁTICO Y ECO TÉCNICAS, Trillas. México, 1992.
- VENEGAS C., Francisco R., *LA VEGETACIÓN COMO UNA ESTRATEGIA EN EL USO RACIONAL DE LA ENERGÍA*, en II Reunión Nacional sobre la Energía y el Confort, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Arquitectura, pp. 296-298. Mexicali, Baja California, México, 1990.
- WRIGHT David, *ARQUITECTURA SOLAR NATURAL*, Ed. GG, Barcelona, España, 1983.

### INFOGRAFÍA REFERENCIADA CAPITULO I

- Czajkowski, <http://jdczajko.tripod.com/curriculum>, última consulta 09/09.
- ISO 10456:2007, en [http://iso.org/iso/iso\\_catologue](http://iso.org/iso/iso_catologue), última consulta 23/09/ 2009.
- ISO 15927\_3:2009 en [http://iso.org/iso/iso\\_catologue](http://iso.org/iso/iso_catologue), última consulta 23/09/ 2009.
- ISO 10456 “Building materials and products-hygrothermal properties. Tabulated design values and procedures for determining declares and design termal values”, en <http://dof.gob.mx>, última consulta 18/08/ 2009.
- LIDER: Limitación de Demanda Energética, en <http://codigotecnico.org/index>, última consulta 17/09/09.
- LOTERSZTAIN, I., CONDENSACION DE HUMEDAD EN LA VIVIENDA, INTI. Buenos Aires, 1970, en <http://arquinstal02.co.cc/publicaciones/>, última consulta 18/07/ 2009.
- Norma Técnica del Instituto de Normalización y Certificación. IRAM, Argentina, 2002, en <http://www/unne.ed.ar/cyt/2002/07-tecnologicas>, última consulta 08/09.
- Norma Mexicana NMX-C-460-ONNCCCE-2009, Industria de la Construcción –Aislamiento térmico- valor “R” para las Envoltentes de Vivienda por Zona Térmica para la República Mexicana, en <http://dof.gob.mx>, última consulta 23/09/ 2009.

## INFOGRAFÍA REFERENCIADA CAPITULO II

- BERNOULLI, [http://es.encarta.msn.com/encyclopedia\\_761560121/Teorema\\_de\\_Bernoulli.html](http://es.encarta.msn.com/encyclopedia_761560121/Teorema_de_Bernoulli.html), consultado 21/11/2008.
- CHIMENEA ECOLOGICA, <http://www.almendron.com/blog/1989/la-chimenea-ecologica/>, consultado 19/02/2008.
- CHIMENEA SOLAR, <http://bioconstruccionsomeso.blogspot.com/>, consultado 18/02/2008.
- CHIMENEAS SOLAR, [http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/data/p10/images/image\\_s1.png](http://www.learn.londonmet.ac.uk/packages/euleb/data/p10/images/image_s1.png), consultado 14/02/2008.
- CHIMENEA SOLAR, Fuente del Fresno, Ciudad Real, <http://www.almendron.com/blog/1989/la-chimenea-ecologica/>, consultado 03/05/2007.
- KUROIWA Carmen, MURO TROMBE, Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento, Perú, <http://200.10.250.205/doc/seminario-polu/Sencico.pdf>, consultado 14/09/2009.
- MURO TROMBE, <http://200.10.250.205/doc/seminario-polu/Sencico.pdf>, consultado 29/05/2009.
- MURO TROMBE, <http://paratodxs.blogspot.com/>, consultado 29/05/2009.
- MURO TROMBE EN UNA CABAÑA, <http://paratodxs.blogspot.com/>, consultado 29/05/2009.
- SISTEMAS DINÁMICOS, <http://www.docentes.unal.edu.co/atovarp/docs/IGB/01-Sistemas%20din%E1micos.pdf>, consultado 21/11/2008.
- SISTEMAS DINÁMICOS, <http://www.urjc.es/departam/IndDepartam.html>, consultado 21/11/2008.
- TUBO VENTURI, [www.monografias.com](http://www.monografias.com), consultado 21/11/2008.
- [www.giordano.fr](http://www.giordano.fr), consultado 21/11/2008.
- 

## INFOGRAFÍA REFERENCIADA CAPITULO III

- THE WEATHER CHANNEL, <http://www.enjoymexico.net/mexico/villahermosa-clima-mexico.php>, consultado 02/02/2009.

## INFOGRAFÍA GENERAL

- ALGORITMOS, en: <http://es.wikipedia.org>, fecha de consulta 09/05/2007.
- SISTEMAS DINAMICOS o DINAMICA NO LINEAL, en: <http://www.escet.urjc.es/>, consultado 03/05/2007.