

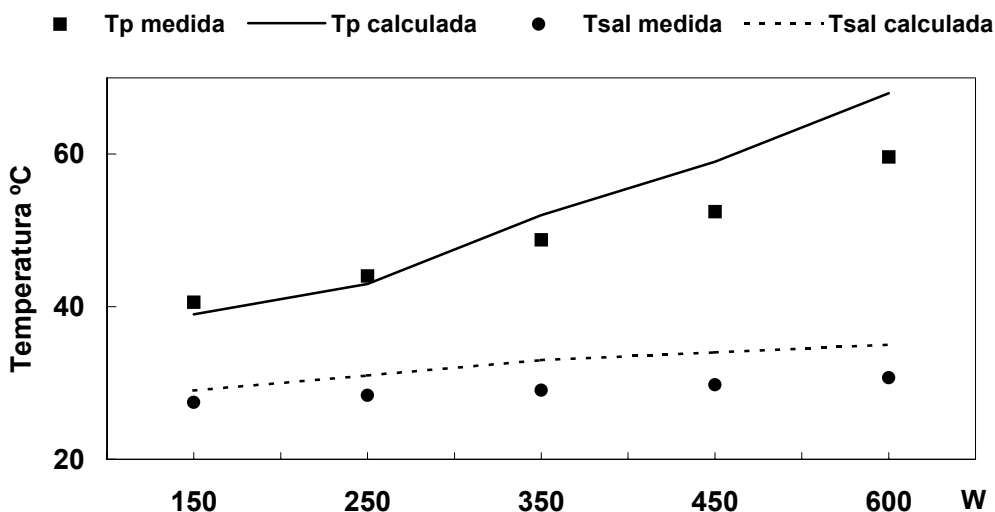
# **CAPÍTULO 5**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### 5.1. Comparación de los resultados medidos en las pruebas experimentales con los calculados en el modelo analítico

Los valores promedio medidos en la sección anterior fueron comparados con los calculados por el modelo analítico, a fin de obtener la diferencia entre ambos modelos. En la gráfica 5.1 se presenta la comparación de los datos promedio medidos con los calculados para las seis pruebas experimentales, empleando a las resistencias como fuente de suministro del flujo de calor.

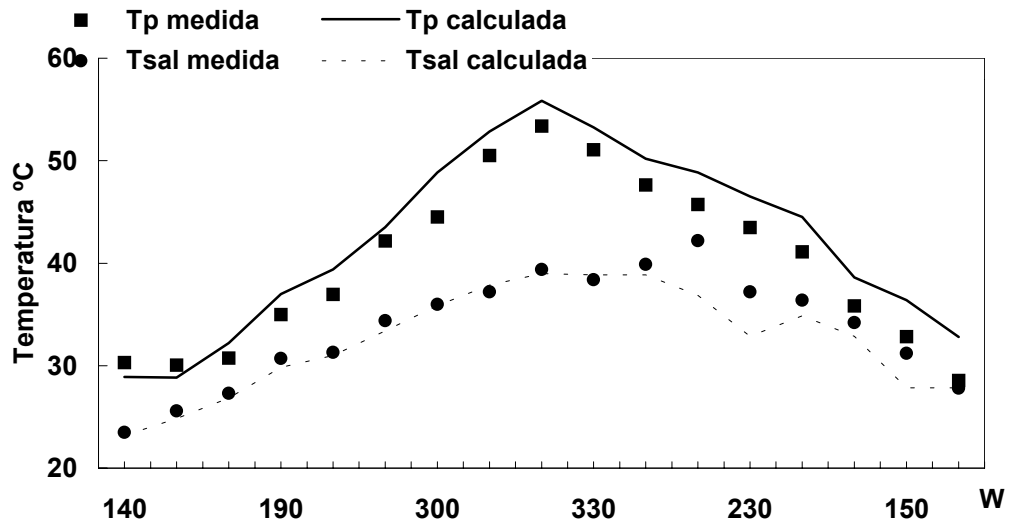
**Gráfica 5.1.- Comparación de los resultados calculados con el modelo analítico contra el promedio de datos medidos en las pruebas experimentales**



En la gráfica 5.1 se muestra que el comportamiento del prototipo experimental es descrito por el modelo analítico. Se observa que la temperatura en la superficie de la placa interna tiene una diferencia entre el valor medido y el calculado de 5 °C, mientras que para el aire a la salida del canal se cuenta con 4 °C.

En la gráfica 5.2 se presenta la comparación de los datos calculados en el modelo analítico con el medido en la prueba experimental empleando a la radiación solar como fuente de suministro del flujo de calor.

Gráfica 5.2.- Comparación entre los resultados medidos y calculados empleando radiación solar



En la gráfica 5.2 se observa que, el comportamiento de la temperatura tanto en la superficie de la placa interna como la del aire a la salida del canal, son similares en ambos casos. Se obtuvo una diferencia entre los valores medidos y calculados de 4.34 °C para la temperatura en la superficie de la placa interna y de 5.34 °C para la temperatura del aire a la salida del canal. Se considera que el margen de error entre ambos modelos es aceptable.

## 5.2. Análisis al modificar algunas variables de diseño en el modelo analítico

Con el fin de emitir recomendaciones de diseño para los sistemas de descarga de calor, se modificaron algunas variables en el modelo analítico, como (figura 5.1) el espacio entre placas (ancho del canal), altura y ancho de la placa interna, la abertura de entrada de aire al canal y espesor de la placa interna (capacidad de almacenamiento). Para realizar las pruebas y con el fin de partir con la misma referencia, se tomaron las condiciones climáticas de la localidad de Cuautitlán de Romero Rubio, Edo. de México, para el mes de julio, las cuales son:  $T_a = 22.2\text{ }^\circ\text{C}$  y  $G = 313\text{ W/m}^2$ .

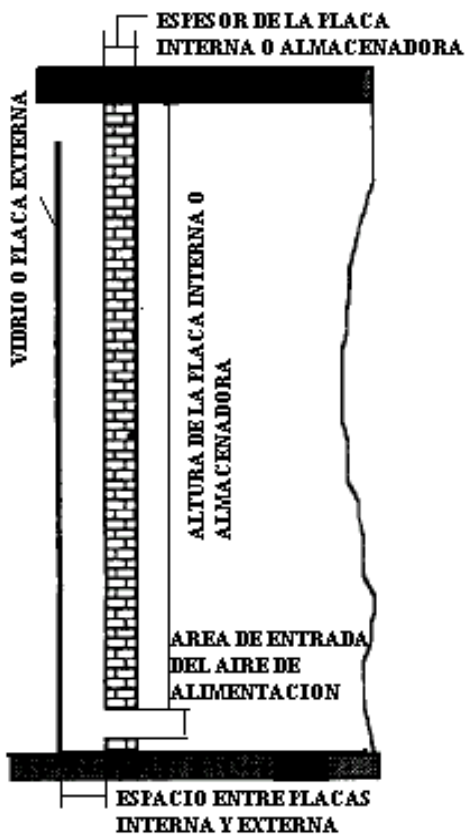
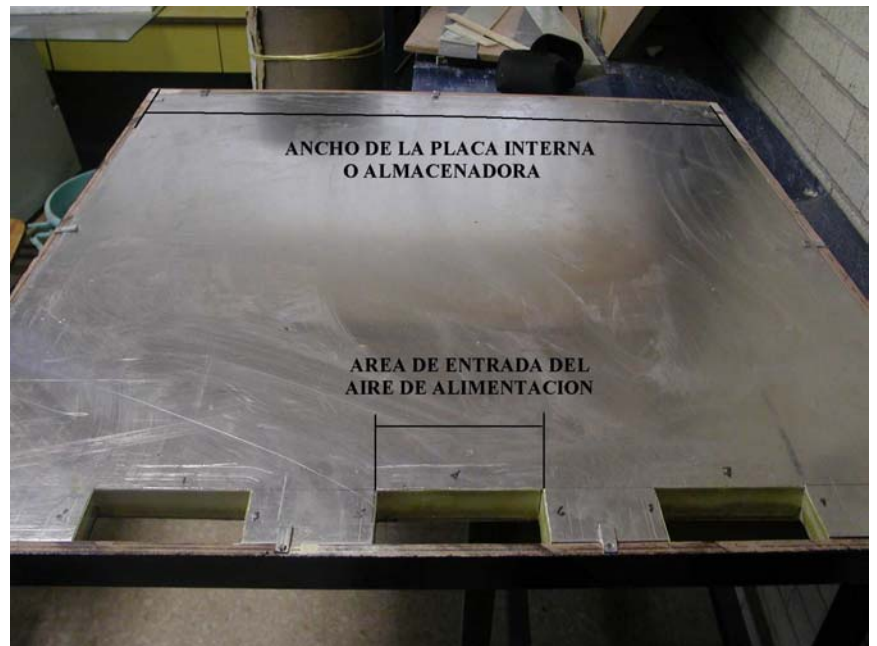


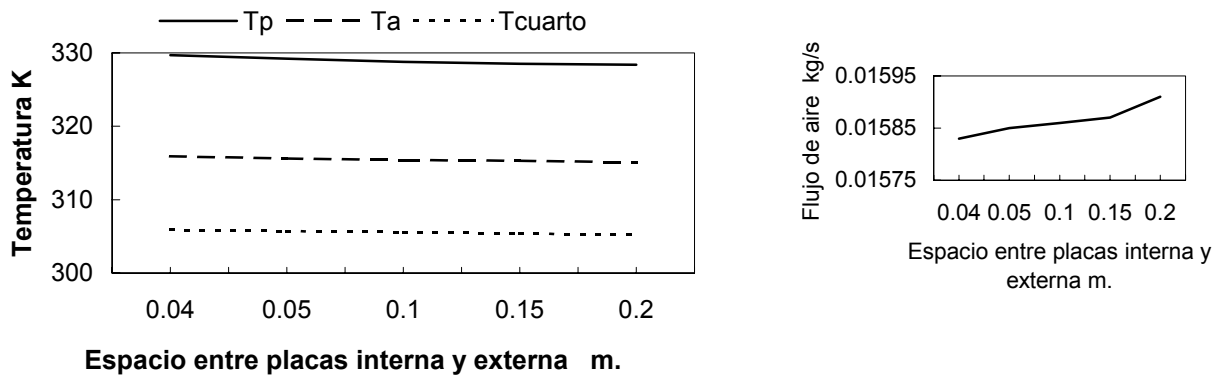
Figura 5.1.- Variables de diseño del sistema de descarga de calor



### 5.2.1. Variación del espacio entre placas interna y externa

Se varió el espesor entre las placas interna y externa de 4 cm. a 20 cm., y se observó (Gráfica 5.3) que al aumentar la distancia entre placas interna y externa se presenta una ligera disminución en la temperatura en la superficie de la placa interna, en la temperatura del aire a la salida del canal y de la temperatura del cuarto a ventilar, se considera que esto es debido a que al tener un mayor espacio entre placas interna y externa se incrementa el flujo de aire en su interior (aumenta el área transversal del canal) retirando parte del flujo de calor de las placas interna y externa.

**Grafica 5.3.- Comportamiento térmico del modelo al variar el espacio entre placas interna y externa**

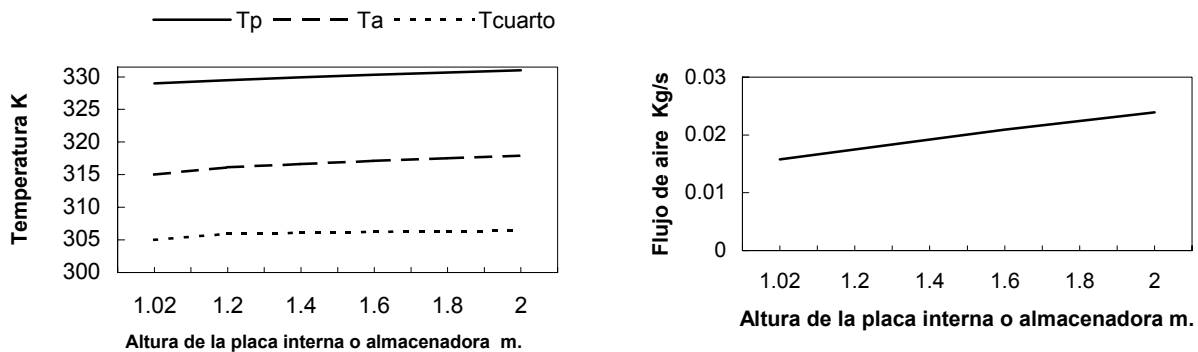


Tp Temperatura en la superficie de la placa interna    Ta Temperatura del aire a la salida del canal    Tcuarto Temperatura del cuarto a enfriar

### 5.2.2. Variación de la altura de la placa interna

En la siguiente prueba se varió la altura de la placa interna desde 1.02 m. a 2 m. y se encontró (grafica 5.4) que al aumentar la altura de la placa interna se incrementa las temperaturas del aire a la salida del canal y de la superficie de la placa interna, debido a que se cuenta con mayor superficie para la captación de la radiación solar, originando mayor flujo de aire en la cavidad. Se observa en la gráfica 12, que la temperatura en el interior del cuarto a climatizar también aumenta y se estima que es resultado del sobrecalentamiento de la placa interna que transmite mayor flujo de calor al interior del cuarto a climatizar por el aislante empleado.

**Grafica 5.4.- Comportamiento térmico del modelo al variar la altura de la placa interna**

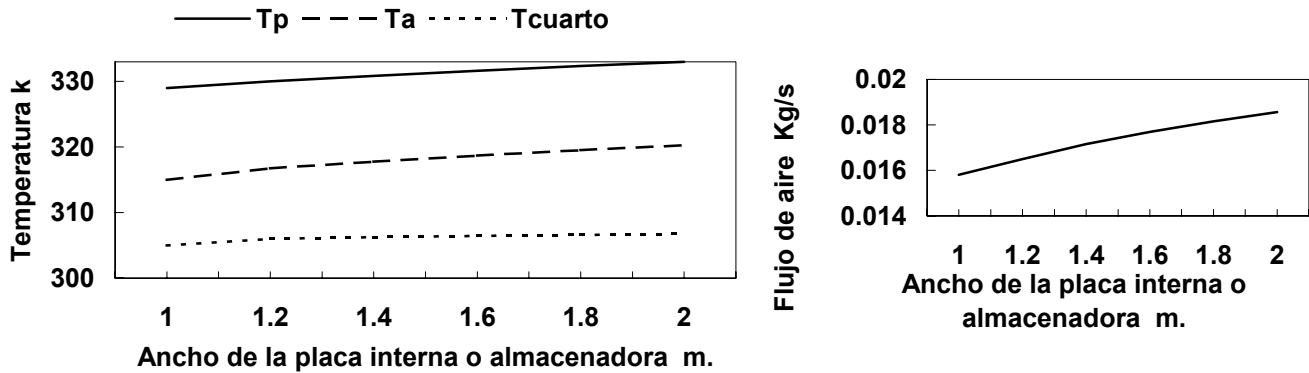


Tp Temperatura en la superficie de la placa interna    Ta Temperatura del aire a la salida del canal    Tcuarto Temperatura del cuarto a enfriar

### 5.2.3. Variación del ancho de la placa interna

Se varió el ancho de la placa interna de 1 m. a 2 m. y originó (gráfica 5.5) que se incrementara la temperatura en la superficie de la placa interna y la temperatura del aire de salida del canal. El flujo de aire se incrementa originando que se obtenga mayor ventilación lo cual se observa en el comportamiento de la temperatura en del interior del cuarto a climatizar que se mantiene entre 31°C y 33 °C.

**Gráfica 5.5.- Comportamiento térmico del modelo al variar el ancho de la placa interna**

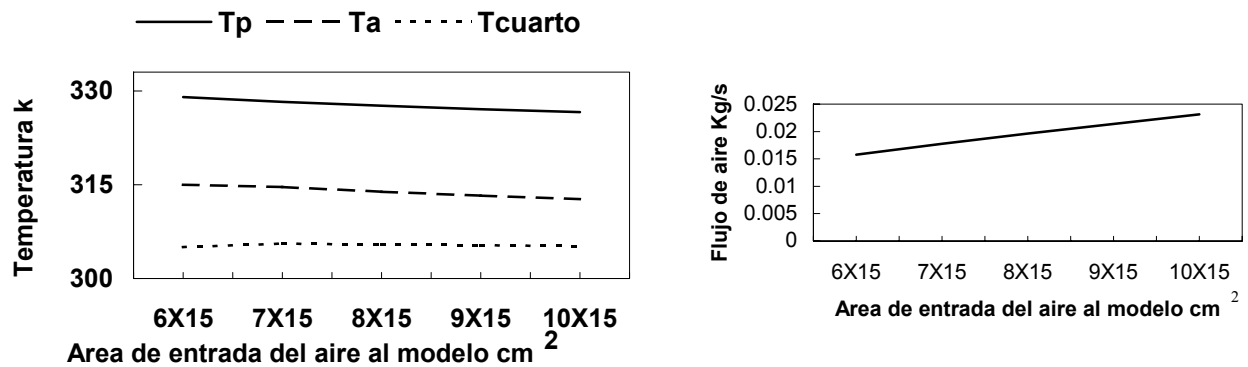


$T_p$  Temperatura en la superficie de la placa interna     $T_a$  Temperatura del aire a la salida del canal     $T_{\text{cuarto}}$  Temperatura del cuarto a enfriar

### 5.2.4. Variación del área de entrada del aire que alimenta al modelo

Se varió el área de entrada del aire que alimenta al modelo de 6 x 15 cm. a 10 x 15 cm. y se encontró (gráfica 5.6) que al incrementar el flujo de aire que alimenta al modelo se disminuye tanto la temperatura en la superficie de la placa interna como la temperatura del aire a la salida del canal, pero se mantiene la temperatura del interior del cuarto a climatizar entre 31°C y 32°C.

**Gráfica 5.6.- Comportamiento térmico del modelo al variar el área de entrada del aire que lo alimenta**

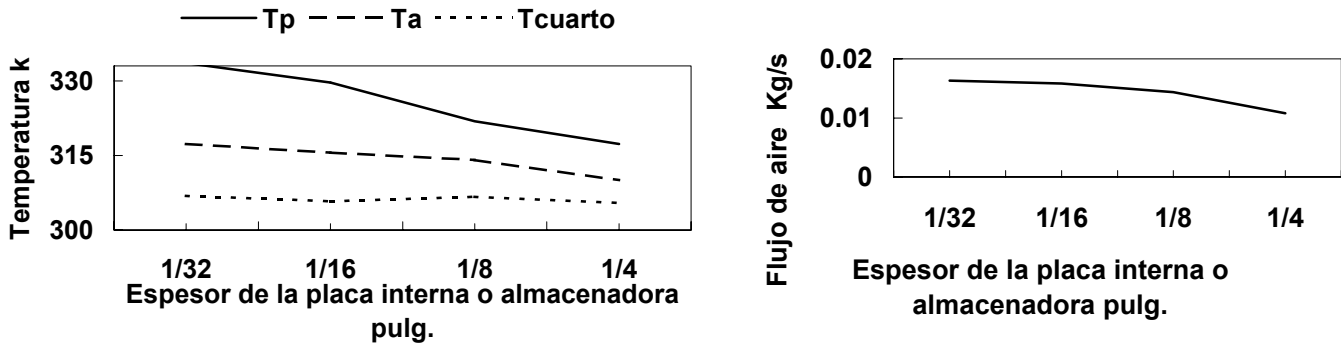


$T_p$  Temperatura en la superficie de la placa interna     $T_a$  Temperatura del aire a la salida del canal     $T_{\text{cuarto}}$  Temperatura del cuarto a enfriar

### 5.2.5. Variación del espesor de la placa interna

Se varió el espesor de la placa interna de  $\frac{1}{32}$  pulg. a  $\frac{1}{4}$  pulg. y se encontró (gráfica 5.7) que conforme se aumenta el espesor de la placa interna, disminuye las temperaturas tanto la del aire a la salida del canal como la de la superficie de la placa interna, originando que se reduzca el flujo de aire generado en el interior del canal. Se estima que la reducción de temperatura en la superficie de la placa interna (de  $60^{\circ}\text{C}$  a  $42^{\circ}\text{C}$ ) es debido a que se requiere mayor flujo de calor para calentar su superficie.

**Gráfica 5.7.- Comportamiento térmico del modelo al variar el espesor de la placa interna**

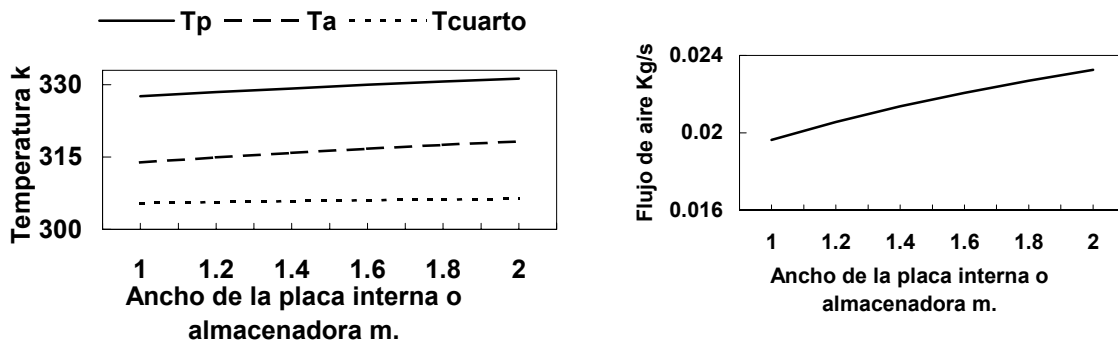


Tp Temperatura en la superficie de la placa interna Ta Temperatura del aire a la salida del canal Tcuarto Temperatura del cuarto a enfriar

### 5.2.6. Variación del área de entrada del aire que alimenta al modelo y del ancho de la placa interna

En base a los resultados obtenidos en las cuatro pruebas anteriores, se cambió el área de la entrada del aire que alimenta al modelo de 3 entradas de  $6 \times 15$  cm a 4 entradas de  $6 \times 15$  cm y se varió el ancho de la placa interna de 1 m. a 2 m. encontrando que (gráfica 5.8) al combinar ambas variaciones se incrementan las temperaturas en la superficie de la placa interna y la del aire a la salida del canal, mientras que la temperatura en el interior del cuarto a climatizar presenta un aumento no mayor a  $1^{\circ}\text{C}$ .

**Gráfica 5.8.- Comportamiento térmico del modelo al variar el área de entrada del aire que lo alimenta y el ancho de la placa interna**



Tp Temperatura en la superficie de la placa interna Ta Temperatura del aire a la salida del canal Tcuarto Temperatura del cuarto a climatizar

### 5.3. Resultados al variar las condiciones ambientales en el modelo analítico

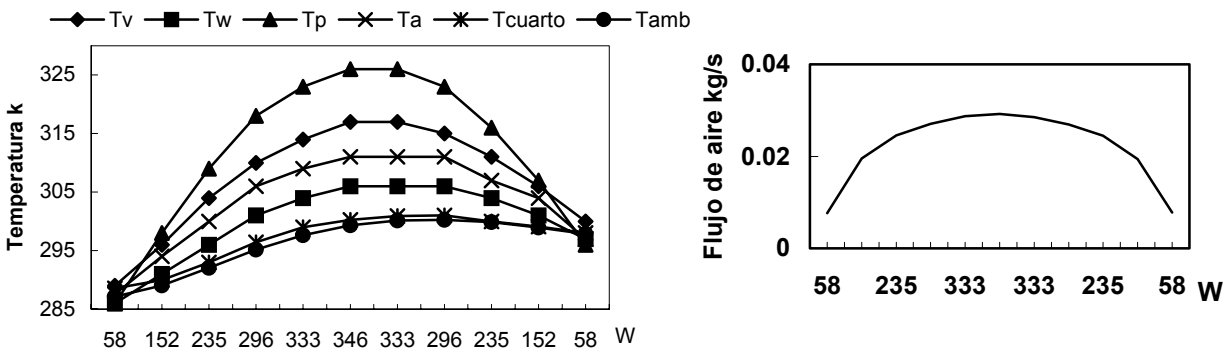
Con el propósito de conocer como se comportaría un sistema de descarga de calor en muros en varios estados de la República Mexicana a lo largo de un día (de 7 hrs. a 17 hrs.), se realizaron diferentes pruebas en las que se alimentó en el modelo analítico los valores de radiación solar y temperatura ambiente horaria de cada estado, las cuales se presentan al final del documento ordenadas por estado para el mes de julio. Para el diseño del sistema de descarga de calor empleado para las pruebas, se consideró los resultados obtenidos en las pruebas anteriores donde se observó el comportamiento de las variables del diseño. Con base en lo anterior, se empleó una altura 1.20 m y un ancho de 1.60 m para la placa interna, 5 cm de espacio entre placas interna y externa y cuatro aberturas de 7 x 15 cm para la entrada del aire que alimenta al sistema.

**En las gráficas que a continuación se presentan se involucra la siguiente notación:**

- $T_v$  = Temperatura en la superficie del vidrio, K
- $T_p$  = Temperatura en la superficie de la placa interna, K
- $T_a$  = Temperatura del aire a la salida del canal, K
- $T_w$  = Temperatura en la superficie del aislante protector de la placa interna, K
- $T_{amb}$  = Temperatura ambiente, K
- $T_{cuarto}$  = Temperatura del aire del cuarto a climatizar, K.

#### AGUASCALIENTES

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor      Flujo de aire generado**

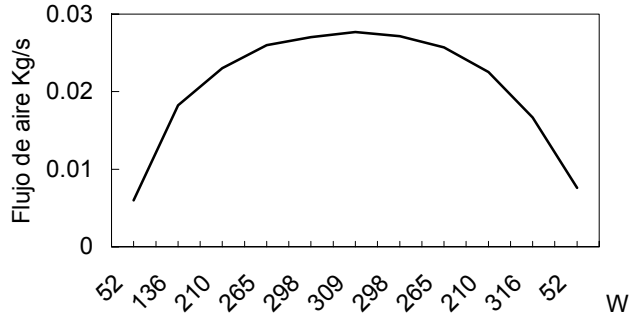
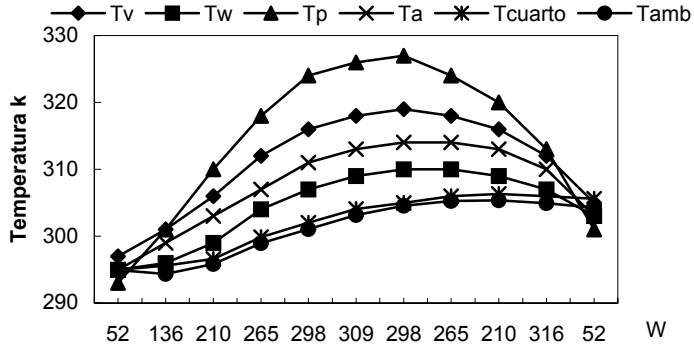




## COLIMA

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

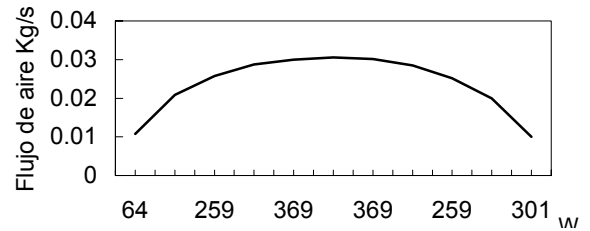
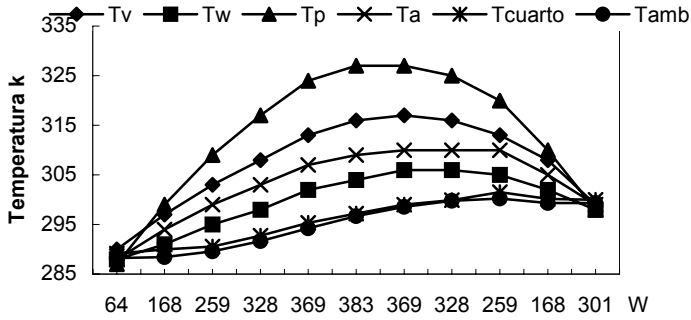
**Flujo de aire generado**



## DURANGO

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

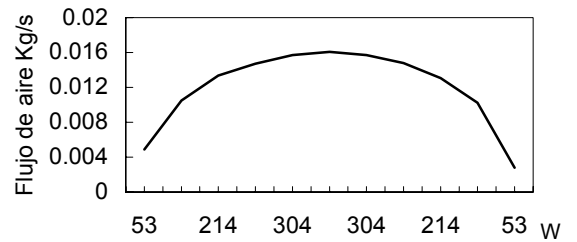
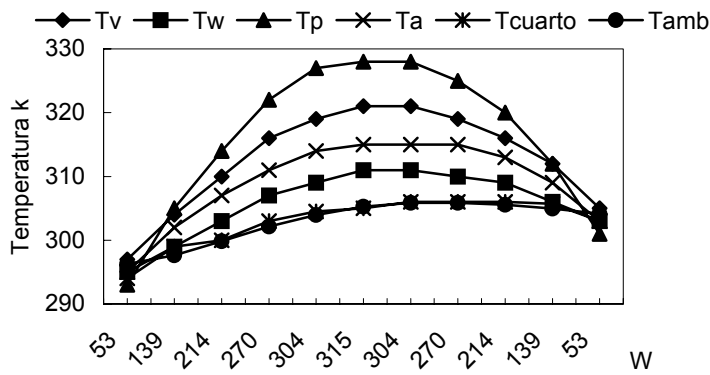
**Flujo de aire generado**



## CAMPECHE

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

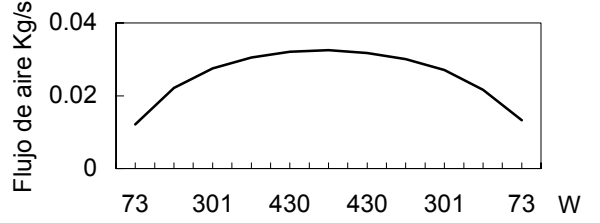
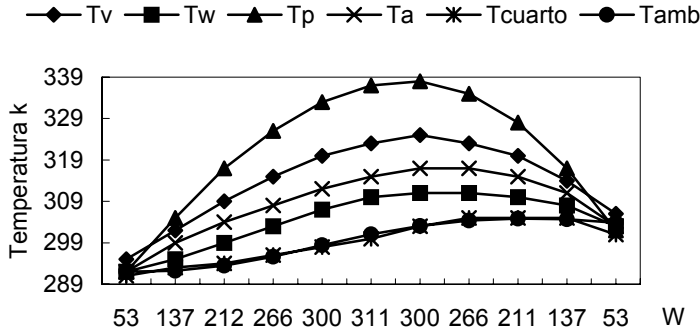
**Flujo de aire generado**



## CHIHUAHUA

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

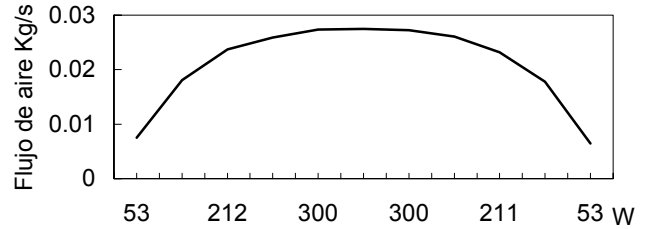
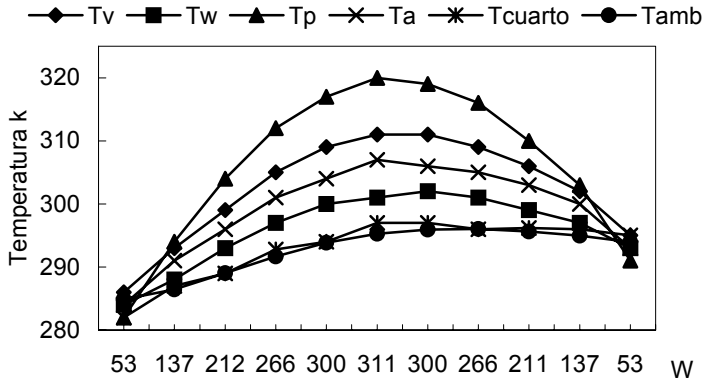
**Flujo de aire generado**



## DF

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

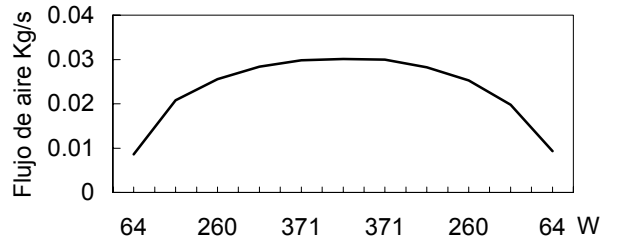
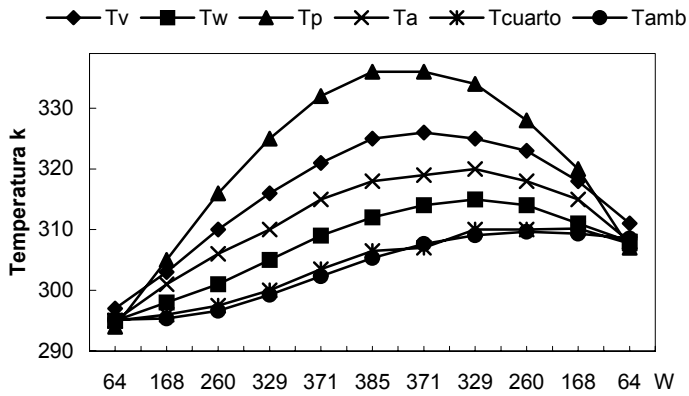
**Flujo de aire generado**



## LA PAZ

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

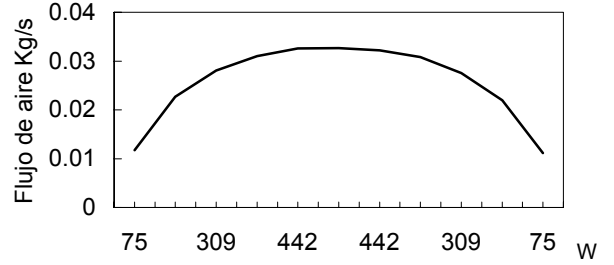
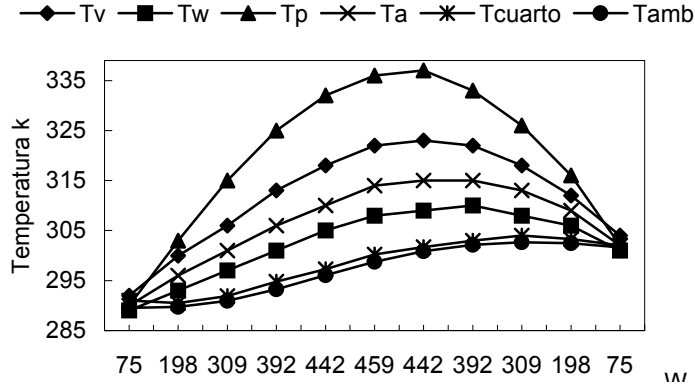
**Flujo de aire generado**



## SALTILLO

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

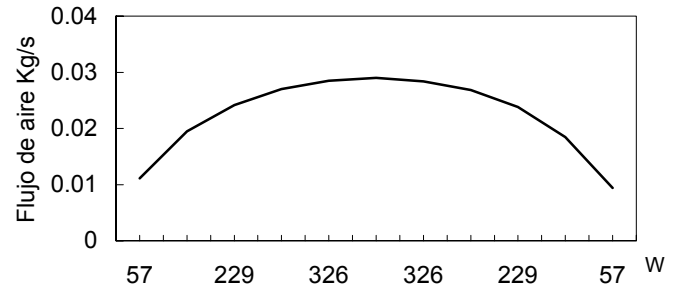
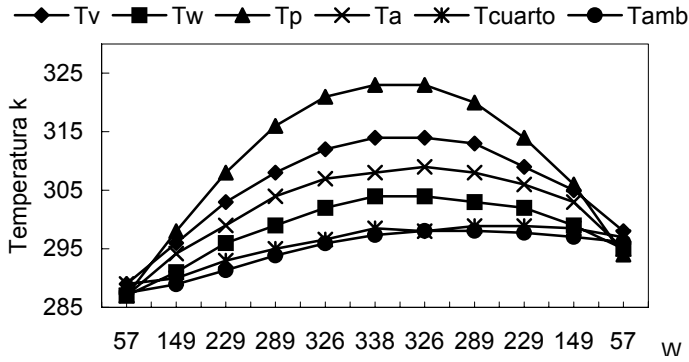
**Flujo de aire generado**



## GUANAJUATO

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

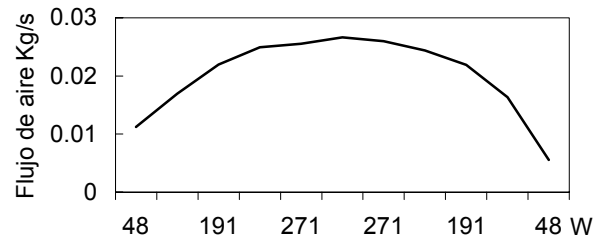
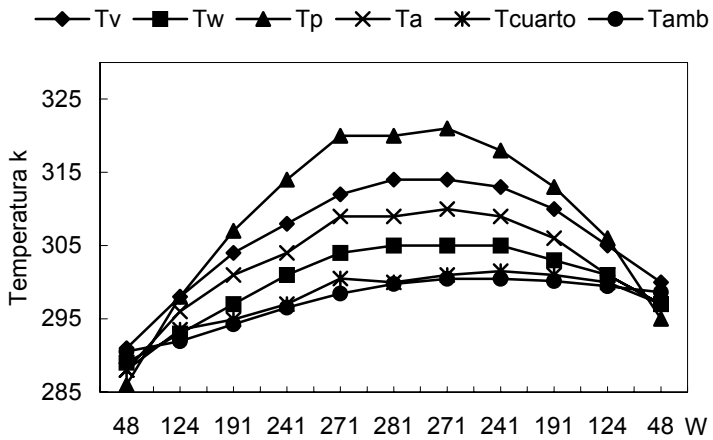
**Flujo de aire generado**



## CHILPANCINGO

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

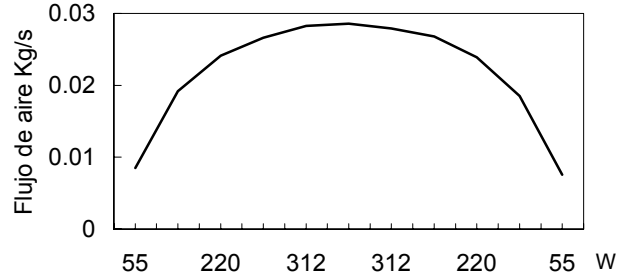
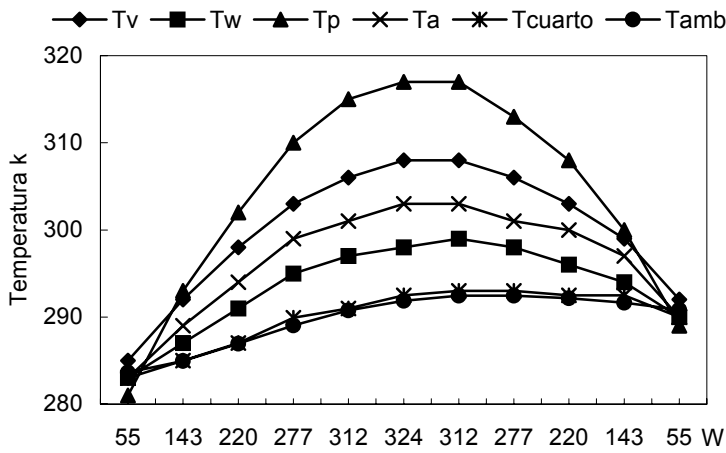
**Flujo de aire generado**



## PACHUCA

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

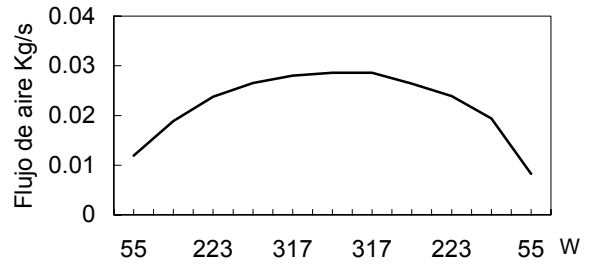
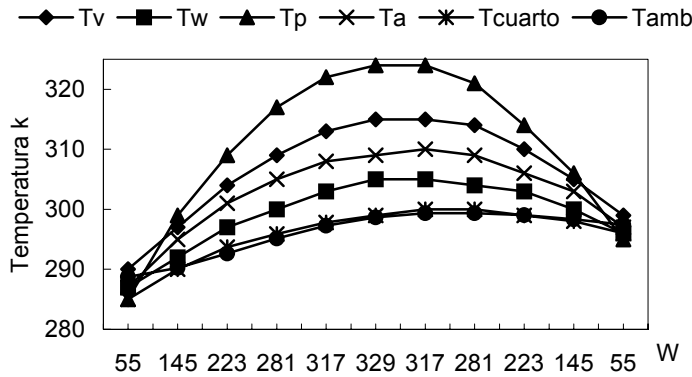
**Flujo de aire generado**



## GUADALAJARA

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

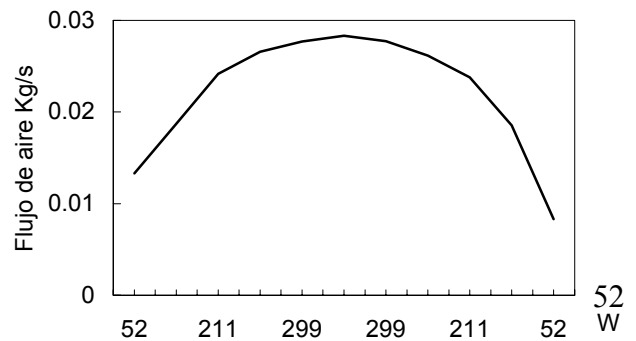
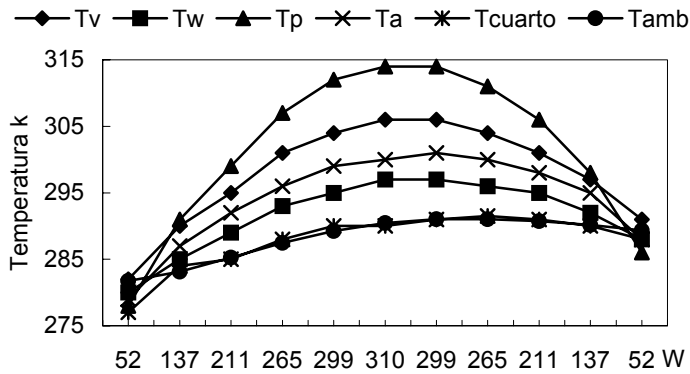
**Flujo de aire generado**



## TOLUCA

**Comportamiento térmico del sistema de descarga de calor**

**Flujo de aire generado**



El comportamiento en cuanto al calentamiento de la placa interna, vidrio y del aire a la salida del canal es similar en todos los diferentes estados que se analizaron, si no se considera la humedad del ambiente. Se observa que la temperatura del interior del cuarto a climatizar se mantiene por arriba pero cercana a la del medio ambiente a excepción de las primeras horas de radiación solar en las que la temperatura del cuarto es menor a ella.

Para cuantificar el ahorro de energía que se puede obtener con la implementación de un sistema de descarga de calor, se tomo una edificación de 2 m. de alto, 4 m. de largo y 4 m. de fondo y un sistema de descarga de calor de 1.70 m. de altura por 2.00 m. de ancho para la placa interna y entradas de aire al interior del canal de 0.07 m. por 0.15 m.

Con el ejemplo se pudo observar (Tabla 5.1) que una edificación con las características antes mencionadas puede obtener un ahorro de energía entre el 13 % y 16 % dependiendo del estado de la República Mexicana en el que se encuentre. Con estos datos se puede obtener un índice que relaciona al área de la placa interna y almacenadora con respecto al volumen del cuarto a climatizar, información que puede ser útil para el diseño de estos sistemas dependiendo del estado de la República donde se encuentre. Para la edificación tomada como ejemplo dio como resultado  $0.104 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

**Tabla 5.1 Ahorro estimado aplicando el sistema de descargo de calor en muros**

ESTADO/CAPITAL	LATITUD	T AMB	RADIACION W/M2				CALOR EN LA HABITACION W			%	AHORRO XM3	AHORRO XM2
			SUR	ESTE	OESTE	TECHO	SIN SISTEMA	CON SISTEMA	AHORRO			
REPUBLICA MEXICANA	N	° C										
AGUASCALIENTES	21° 53'	28.10	333.00	327.00	327.00	616.20	11135.00	9516.00	1619.00	14.54	50.59	487.65
LA PAZ BCS	24° 10'	32.20	348.00	341.00	341.00	616.20	11353.50	9642.80	1710.70	15.07	53.46	515.27
MEXICALI BCN	32° 29'	32.20	390.00	381.00	381.00	607.75	11883.30	9983.30	1900.00	15.99	59.38	572.29
CAMPECHE	19° 51'	32.00	321.00	315.50	315.50	614.90	10893.00	9436.42	1456.58	13.37	45.52	438.73
COAHUILA	25° 26'	25.60	354.00	347.00	347.00	616.20	11436.50	9714.86	1721.64	15.05	53.80	518.57
COLIMA	19° 14'	31.40	318.50	313.00	313.00	614.90	10886.00	9376.23	1509.77	13.87	47.18	454.75
CHIHUAHUA	28° 38'	27.90	370.50	360.00	363.00	613.60	11651.00	9884.45	1766.55	15.16	55.20	532.09
DF CHAPULTEPEC	19° 25'	22.10	319.00	313.50	313.50	614.90	10954.00	9461.90	1492.10	13.62	46.63	449.43
DURANGO	24° 01'	23.50	347.50	340.50	340.50	616.20	11362.00	9661.90	1700.10	14.96	53.13	512.08
GUANAJUATO	21° 01'	24.20	330.00	324.00	324.00	616.20	11117.20	9464.19	1653.01	14.87	51.66	497.89
GUERRERO	17° 33'	26.60	307.00	302.50	302.50	612.95	10744.10	9229.18	1514.92	14.10	47.34	456.30
HIDALGO ACTOPAN	20° 08'	18.70	324.50	318.50	318.50	615.55	10995.00	9434.28	1560.72	14.19	48.77	470.10
JALISCO	20° 41'	25.50	326.50	320.50	320.50	615.55	11048.70	9407.83	1640.87	14.85	51.28	494.24
MEXICO TOLUCA	19° 17'	17.30	318.50	313.50	313.50	614.90	10938.00	9418.00	1520.00	13.90	47.50	457.83
MICHOACAN	19° 42'	22.80	320.50	314.50	314.50	616.20	10981.00	9325.18	1655.82	15.08	51.74	498.74
NAYARIT	21° 31'	28.40	331.50	325.50	325.50	615.55	11110.20	9471.36	1638.84	14.75	51.21	493.63
NUEVO LEON	25° 40'	30.60	355.00	348.00	348.00	614.90	11477.20	9736.09	1741.11	15.17	54.41	524.43
PUEBLA	19° 02'	22.70	318.00	312.50	312.50	616.20	10921.50	9411.88	1509.62	13.82	47.18	454.70
SAN LUIS POTOSI	22° 09'	22.70	336.50	330.00	330.00	612.95	11158.40	9520.86	1637.54	14.68	51.17	493.23
SONORA	29° 05'	35.10	374.00	366.50	366.50	614.90	11740.10	9861.92	1878.18	16.00	58.69	565.72
VERACRUZ	19° 12'	23.30	318.50	313.00	313.00	615.55	10950.00	9354.94	1595.06	14.57	49.85	480.44
QUINTANA ROO	20° 31'	30.90	325.50	320.00	320.00	615.55	11043.80	9390.86	1652.94	14.97	51.65	497.87
<b>TOTAL W</b>							<b>245779.5</b>	<b>209704.43</b>	<b>36075.1</b>	<b>%</b>	<b>51.24</b>	<b>493.91</b>
<b>TOTAL KW</b>							<b>245.78</b>	<b>209.70</b>	<b>36.08</b>	<b>14.66</b>	<b>W/M3</b>	<b>W/M2</b>

VOLUMEN DE 4 x 4 x 2 = 32 M3    DISPOSITIVO DE 1,70 x 2,00 M    8 ENTRADAS DE AIRE DE 0,07 x 0,15 M    AREA PLACA/VOLUMEN  
 AREA DE PLACA S/AIRE    3.40    M2    AREA DE PLACA C/AIRE    3.32    M2    0.104    M2/M3