

CAPÍTULO 4

ESTUDIO EXPERIMENTAL

Para el proyecto de investigación se construyó un prototipo experimental basándose en los antecedentes presentados en el capítulo 2. La construcción así como la experimentación se realizó en el “Cuarto oscuro de Óptica” del Laboratorio de Física de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, de la UNAM.

4.1. Descripción del prototipo experimental

El prototipo experimental que se diseñó y construyó para el proyecto de investigación, permite simular el fenómeno que se presenta en un sistema de descarga de calor empleado para climatizar una edificación.

Constó de dos placas (interna y externa) paralelas separadas por una cavidad por donde circula aire. Se empleó una placa de aluminio de $\frac{1}{16}$ pulg. de espesor (por sus características de conductividad y respuesta térmica que permite realizar pruebas en tiempos cortos) para simular el muro almacenador y como placa externa, vidrio de 4 mm (figura 4.1). Las dimensiones del prototipo experimental fueron: 1 m. de ancho por 1.02 m. de altura. Se escogió esta altura para reducir el tamaño del modelo con el fin de obtener una mayor maniobrabilidad y reducir los costos. Aún cuando el modelo se diseñó para cambiar el ancho del canal de 3 cm. a 15 cm., se estudió a partir de los 5 cm., debido al resultado presentado en la gráfica 3.6 del capítulo modelo analítico.

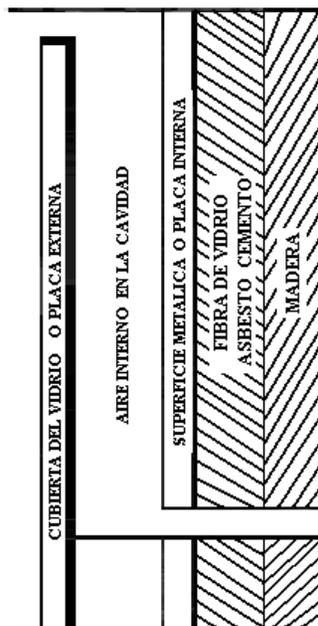


Figura 4.1 .- Prototipo experimental

Para la simulación de las condiciones ambientales externas (radiación solar y temperatura ambiente) que se pueden tener debido a la variación de la latitud y orientación, se propuso un arreglo (figura 4.2) de 20 resistencias eléctricas (empleadas en los calentadores eléctricos) que proporcionaron un flujo de calor desde 0 hasta 1028 W a la placa interna. Este arreglo se encontraba protegido por

aislante (figura 4.3): $\frac{1}{16}$ pulg. de placa de asbesto, 0.6 cm de placa de asbesto - cemento, 0.2 cm de fibra de vidrio, 2 cm de unicep y 1.5 cm de madera para disminuir perdidas al exterior y asegurar el flujo unidireccional que se tomó como consideración en el estudio. Cabe hacer mención que la finalidad de las resistencias es proporcionar el flujo de calor que recibe un sistema de descarga de calor aplicado en un muro.



Figura 4.2 .- Arreglo de resistencias



Figura 4.3.- Material aislante

El arreglo de resistencias consistió en colocar en serie dos arreglos de 10 resistencias de aproximadamente 19 ohms. En cada arreglo se colocó en paralelo 5 pares formados por 2 resistencias en serie. En total se obtuvo una resistencia de 15.2 ohms, que en potencia es:

$$I_{max} = 127 \text{ V} / 15.2 \text{ ohm} = 8.22 \text{ A}$$

$$P_{max} = 127 \text{ V} \times 8.22 \text{ A} = 1028 \text{ W}$$

El prototipo experimental permitió, mediante una abertura en la parte inferior de la placa de aluminio (figura 4.4) la entrada del aire de alimentación y por la parte superior del canal la descarga del flujo de aire generado por convección natural, lo cual evito el uso de equipos como ventiladores o extractores de aire. También, se puede variar las dimensiones de las aberturas de entrada y salida a fin de conocer el comportamiento del sistema de descarga de calor originado por su variación.



Figura 4.4.- Entradas del aire de alimentación al prototipo experimental

4.2. Equipo de medición

Los equipos que se emplearon para la adquisición de datos en las pruebas experimentales son: (figura 4.5):

- 11 Multímetros: medición del voltaje suministrado al prototipo experimental y medición de la resistencia de los sensores de temperatura.
- 1 Amperímetro de gancho: medición del amperaje suministrado.
- 1 Variac: regulador del suministro de voltaje entre el 0 y 120 %, al modelo.
- 2 Sondas de temperatura: medición la temperatura ambiental y de salida del dispositivo.
- 8 Sensores de temperatura de superficie.
- 2 Sondas de temperatura ambiental.
- 1 Piranómetro.



Figura 4.5.- Termómetro digital, multímetro digital y variac empleados en las pruebas experimentales

Los sensores de temperatura fueron prestados por la empresa CORAL GROUP, la cual realiza trabajos para PEMEX y CFE, motivo por el cual solo prestaron (equipo calibrado) 8 sensores de temperatura para superficie y dos sondas de temperatura.

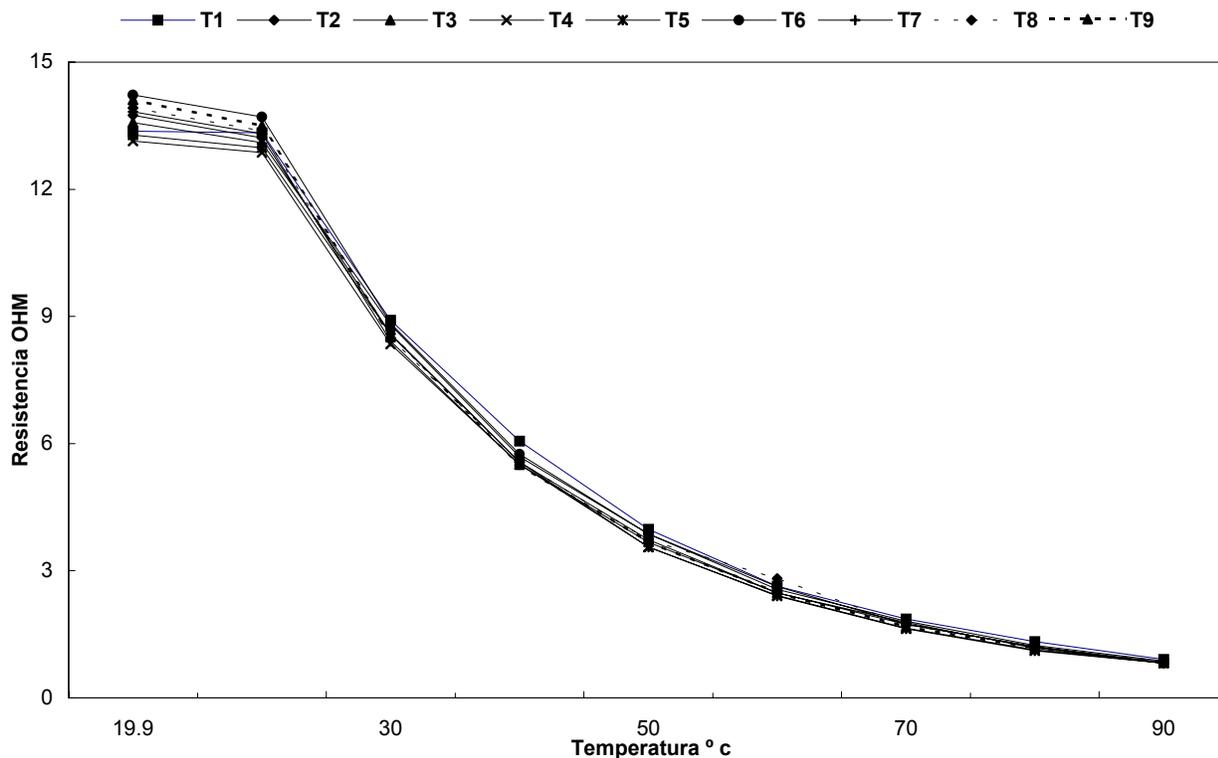
Como los sensores de temperatura de superficie trabajan como un termistor, es decir, emiten valores de resistencia (ohms) al variar su temperatura, fue necesario realizar una prueba (análisis de sensibilidad) para identificar el valor de temperatura que corresponde al valor de resistencia. Para esto fue necesario calentar cada sensor de temperatura de superficie (figura 4.6) y conforme disminuía la resistencia se registraba el valor de temperatura correspondiente.



Figura 4.6.- Prueba realizada a los sensores de temperatura

El sensor de temperatura se comportó de la siguiente forma: conforme aumento la temperatura de la superficie a censar, disminuyo su resistencia la cual fue registrada por el multímetro digital. En la gráfica 4.1 se puede observar como se comportaron los 8 termopares que se emplearon para tomar las lecturas, no se observa variación significativa entre ellos que pudiera generar resultados erróneos.

Gráfica 4.1.- Prueba realizada a los sensores de temperatura



4.3. Instalación del prototipo experimental

El objetivo del proyecto es estudiar el comportamiento de la descarga de calor en muros verticales, motivo por el cual, el modelo se colocó en forma vertical.

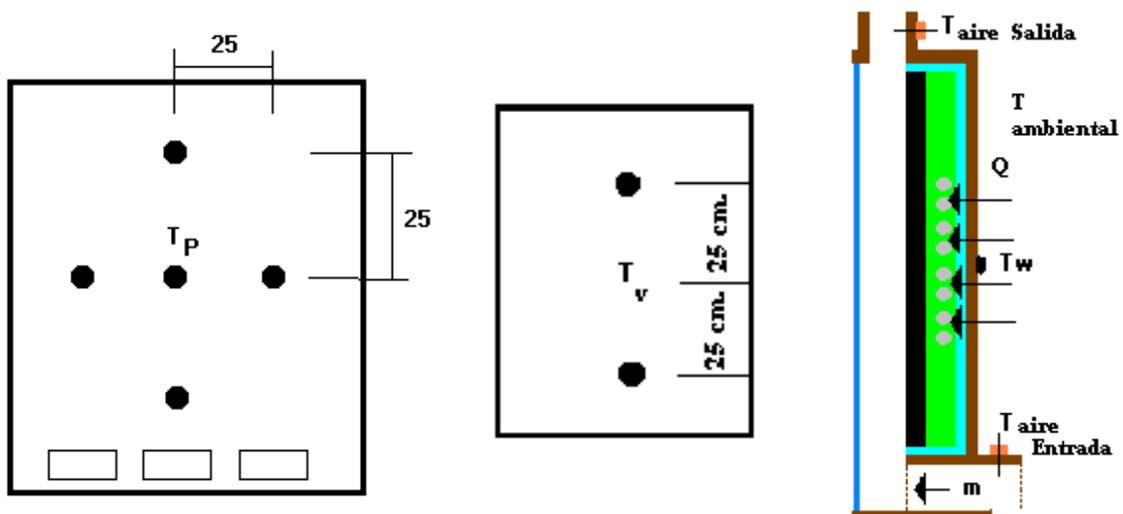
En base a los equipos adquiridos, se distribuyeron los sensores para tratar de abarcar la temperatura en la superficie de la placa interna sin descuidar a la del vidrio. Se colocaron (figura 4.7) 5 sensores en la superficie de la placa interna (T_p), dos sensores sobre la superficie del vidrio (T_v) y uno sobre la superficie del aislante protector del muro almacenador (T_w) para conocer su temperatura y determinar las pérdidas de calor a través del aislante. Se colocaron las sondas de temperatura a la entrada y salida del canal para conocer la variación de temperatura dentro del canal. Para la simulación del flujo de calor mediante resistencias se colocó un multímetro, amperímetro de gancho y un transformador de relación variable (variac). Se empleó el variac debido a que permite modificar el voltaje suministrado de 0 a 120 % de su valor y funciona como sistema de seguridad en caso del incremento de corriente provocado por la ruptura de alguna de las resistencias empleadas.

Figura 4.7.- Instrumentación del prototipo experimental



Los sensores en la superficie de la placa interna se colocaron (figura 4.8) uno en el centro y los otros cuatro a 25 cm. del centro, los sensores sobre la superficie del vidrio a 25 cm. del centro y el último al centro sobre la superficie del aislante protector de la placa interna.

Figura 4.8.- Distribución de los sensores de temperatura en el prototipo experimental



En la tabla 4.1 se presenta la notación que se empleó para la experimentación

Tabla 4.1.- Notación empleada en los sensores de temperatura

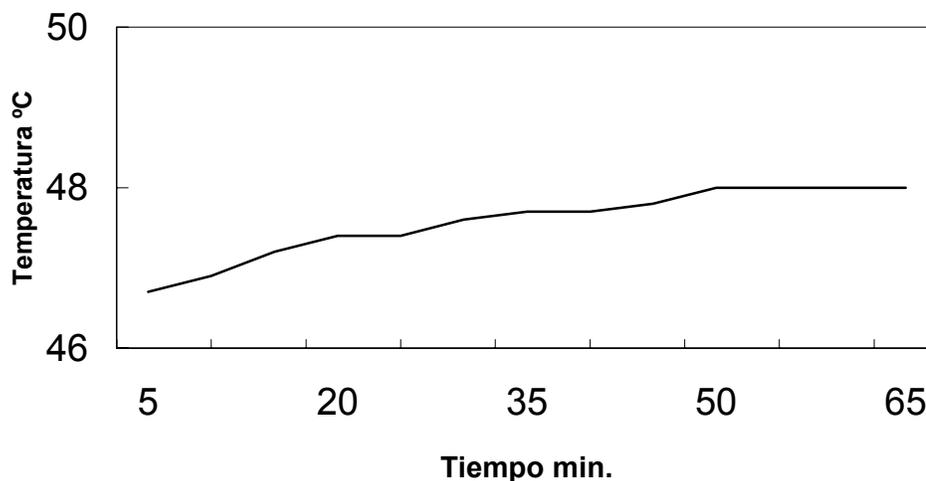
TEMPERATURAS A MEDIR	NOTACIÓN	CANTIDAD
Temperatura del aire a la entrada del canal o ambiental	T_{α}	1
Temperatura del aire a la salida del canal	T_a	1
Temperatura en la superficie de la placa	T_p	5
Temperatura de la cara posterior del dispositivo	T_w	1
Temperatura de superficie de la cubierta o vidrio	T_v	2

4.4. Procedimiento experimental

El suministro del flujo de calor se llevó a cabo de dos formas y en ambos casos la lectura de datos se realizó en forma manual.

Para el caso del suministro del flujo de calor por medio de resistencias, en cada prueba se calentó el modelo con un flujo de calor de 150 W por un periodo de tiempo suficiente para que el arreglo de resistencias se estabilizara y proporcionara potencia uniforme sobre la placa interna. Posteriormente se varió el flujo de calor por periodos de una hora con valores de 150 W, 250 W, 350 W, 450 W y 600 W. En la gráfica 4.2 se presenta el comportamiento de la temperatura sobre la placa empleando el arreglo de resistencias durante un periodo de tiempo, (corresponde una hora por periodo) y se observa que en los últimos 15 minutos del periodo, (después de las 22 hrs. de estabilización de las resistencias) la variación del calentamiento en la superficie de placa interna es mínima, considerándose casi constante.

Gráfica 4.2.- Calentamiento de la placa empleando el arreglo de resistencias durante un periodo de tiempo. (1 hr.)



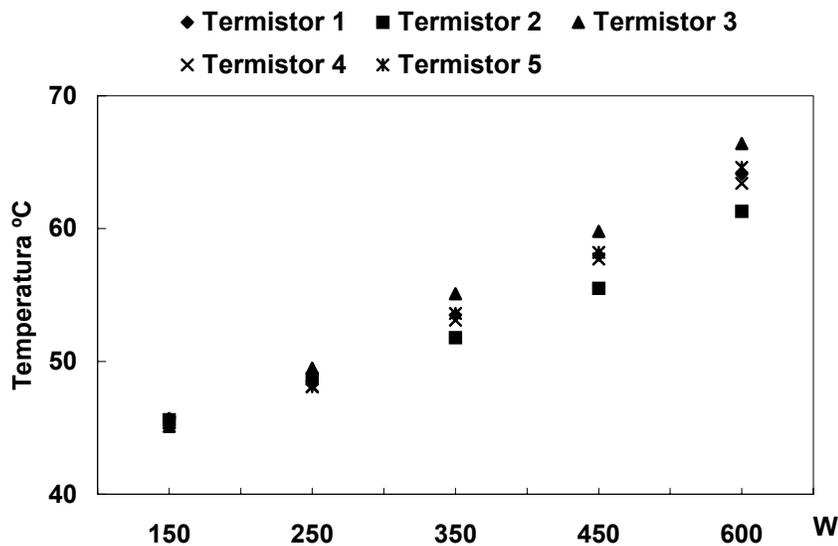
Cuando el suministro del flujo de calor fue por radiación solar, se orientó al modelo al sur para que recibiera la radiación solar durante la mayor parte del día y se tomó lectura de los sensores de temperatura cada 30 min. desde las 9 hrs. hasta las 17 hrs.

4.5. Pruebas en el prototipo experimental

Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales se presentan en forma gráfica (ocho en total) y solo se presentan dos de ellas: cuando el flujo de calor es suministrado mediante resistencias y cuando es suministrado por radiación solar, el resto se aprecian en el anexo 1.

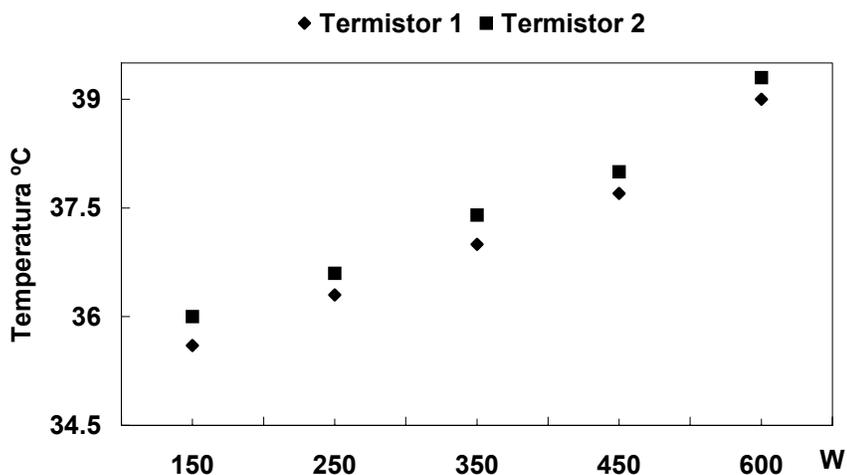
4.5.1. Prueba empleando el arreglo de resistencias como suministro del flujo de calor

Gráfica 4.3.- Comportamiento de la temperatura en la superficie de la placa interna vs. la variación del flujo de calor con el paso del tiempo



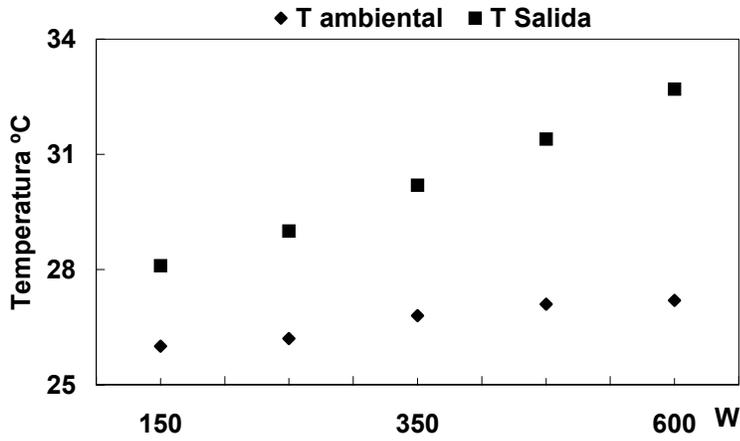
Se observa que al aumentar el flujo de calor con el paso del tiempo la temperatura de la superficie de la placa es casi uniforme, ya que se tiene una diferencia de 3.3°C como máximo entre los puntos

Gráfica 4.4.- Comportamiento de la temperatura en la superficie del vidrio vs. la variación del flujo de calor con el paso del tiempo



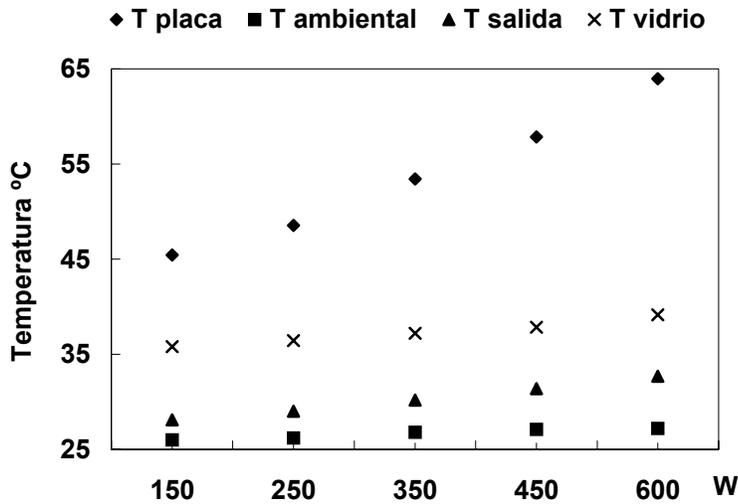
La temperatura en la superficie del vidrio es similar al variar el flujo de calor con el paso del tiempo, presenta una variación no mayor entre sus puntos de 0.36 °C.

Gráfica 4.5.- Comportamiento de la temperatura del aire de salida vs. la variación del flujo de calor con el paso del tiempo



La temperatura del aire del canal aumenta conforme se incrementa el flujo de calor a lo largo de la placa interna con el tiempo y conforme aumenta la temperatura del aire de alimentación se incrementa la del aire de salida.

Gráfica 4.6- Comportamiento térmico del prototipo experimental

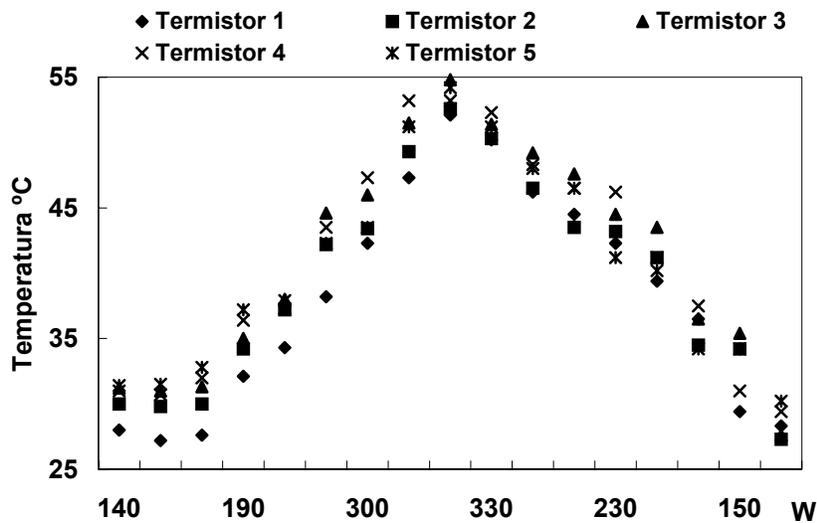


A medida que se aumenta el flujo de calor sobre el prototipo experimental las temperaturas de las superficie del vidrio y placa interna aumentan, originando que el aire que circula por la cavidad absorba parte del calor aumentando su temperatura por arriba de la ambiental.

4.5.2. Prueba empleando a la radiación solar como suministro del flujo de calor

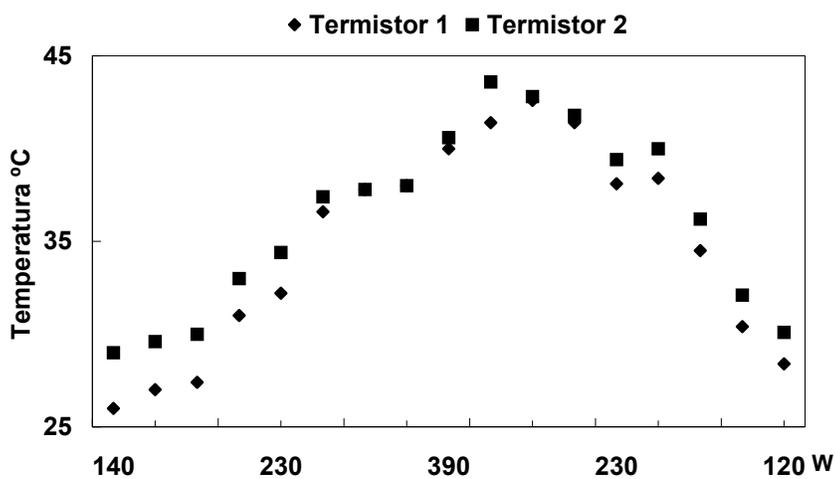
El piranómetro se instaló en forma vertical, paralelo a la placa almacenadora y la radiación solar se expresó en W y no en W/m^2 debido a que ya se consideró el área de la placa que fue de un metro cuadrado.

Gráfica 4.8.- Comportamiento de la temperatura en la superficie de la placa interna vs. la variación del flujo de calor con el paso del tiempo



Se observa que el calentamiento de la placa interna es uniforme y similar al obtenido cuando se empleó resistencias para generar el flujo de calor. Se presenta una variación entre sus puntos no mayor a $8^{\circ}C$ entre los puntos seleccionados en su superficie.

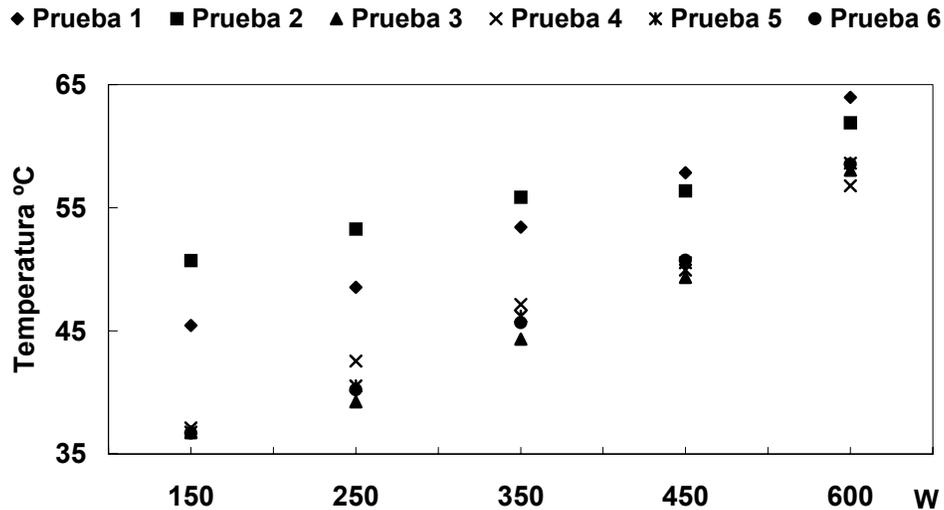
Gráfica 4.9.- Comportamiento de la temperatura en la superficie del vidrio vs. la variación del flujo de calor con el paso del tiempo



De la misma forma que en la temperatura de la placa interna, la temperatura en la superficie del vidrio se comporta en forma similar que cuando se empleó el arreglo de resistencias. La diferencia mayor con respecto a sus puntos es de $3^{\circ}C$ entre los puntos seleccionados en su superficie.

4.5.3 Comparación de los resultados obtenidos en las pruebas en el prototipo experimental empleando las resistencias como suministro del flujo de calor.

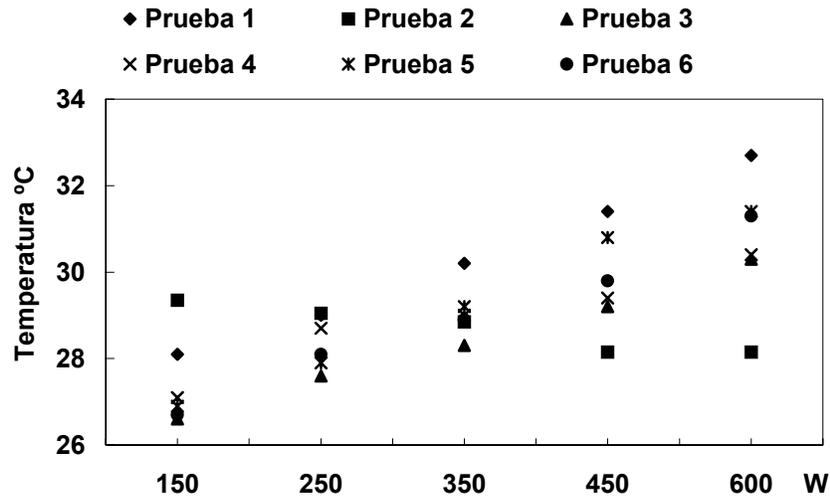
Grafica 4.10.- Comparación de las temperaturas promedio en la superficie de la placa interna obtenidas en las 6 pruebas al incrementar el flujo de calor en el tiempo.



En la gráfica 4.10 se observa que, la temperatura de la placa interna se comporta en forma similar en las pruebas con excepción de la prueba 2 donde disminuye la temperatura del aire que alimenta al modelo. Entre las pruebas existió una variación de la temperatura promedio de la superficie de la placa interna de 9.29 °C. La diferencia entre las pruebas es debido a que varió la temperatura del aire que alimenta al modelo, es decir, dicha temperatura fue mayor en las dos primeras pruebas que en las cuatro restantes. El comportamiento de las cuatro últimas pruebas es similar y su variación no fue mayor a 2 °C.

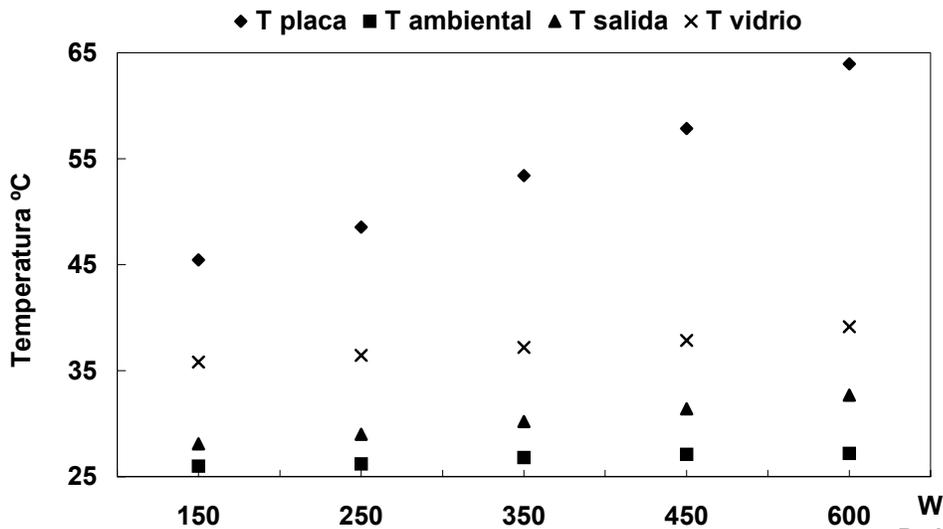
En la gráfica 4.11 se presenta la comparación de la temperatura del aire a la salida del canal obtenida en cada prueba experimental al variar el flujo de calor en el tiempo y se observa que el comportamiento de la temperatura del aire a la salida del canal es similar en cinco de las pruebas y que existe variación con la prueba 2. Esto es debido a que la temperatura del aire que alimenta al modelo disminuyó, originando que la temperatura del aire a la salida del canal también lo hiciera. Existe una variación de 3 °C entre las pruebas.

Grafica 4.11.- Comparación de las temperaturas del aire a la salida del canal de las seis pruebas al incrementar el flujo de calor en el tiempo.



Con base a los datos obtenidos en las seis pruebas experimentales, en la gráfica 4.12 se presenta los valores de temperatura promedio de las placas interna y externa, la del aire de alimentación del modelo y la del aire a la salida del canal.

Grafica 4.12.- Comportamiento térmico del prototipo experimental al incrementar el flujo de calor en el tiempo, empleando los valores promedio de temperatura obtenidos en las seis pruebas experimentales.



En la gráfica 4.12 se observa que al incrementar el flujo de calor en el tiempo las temperaturas en la superficie de las placas interna y externa aumentan originando que también lo haga la temperatura del aire a la salida del canal, pero cuando la temperatura del aire que alimenta al modelo se reduce provoca que la temperatura del aire a la salida del canal disminuya.