

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA TERMODINÁMICA

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA TERMODINÁMICA



**“SIMULADOR TÉRMICO PARA OPTIMIZAR EL EMPLEO
DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CONSTRUCCIONES DE
CLIMAS CÁLIDOS EMPLEANDO LA METODOLOGÍA DE
HORAS—GRADO”**

TESIS

PRESENTA

EMILIO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR

DR. CARLOS PÉREZ TELLO

MEXICALI, B.C., MARZO DE 2006

AGRADECIMIENTO POR TODO A MIS PADRES

PEDRO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ

ROSA AIDE MARTÍNEZ BARRAZA

AGRADECIMIENTO POR TODO EL APOYO A
I. Q. CELIA EDITH VALENZUELA ROMÁN

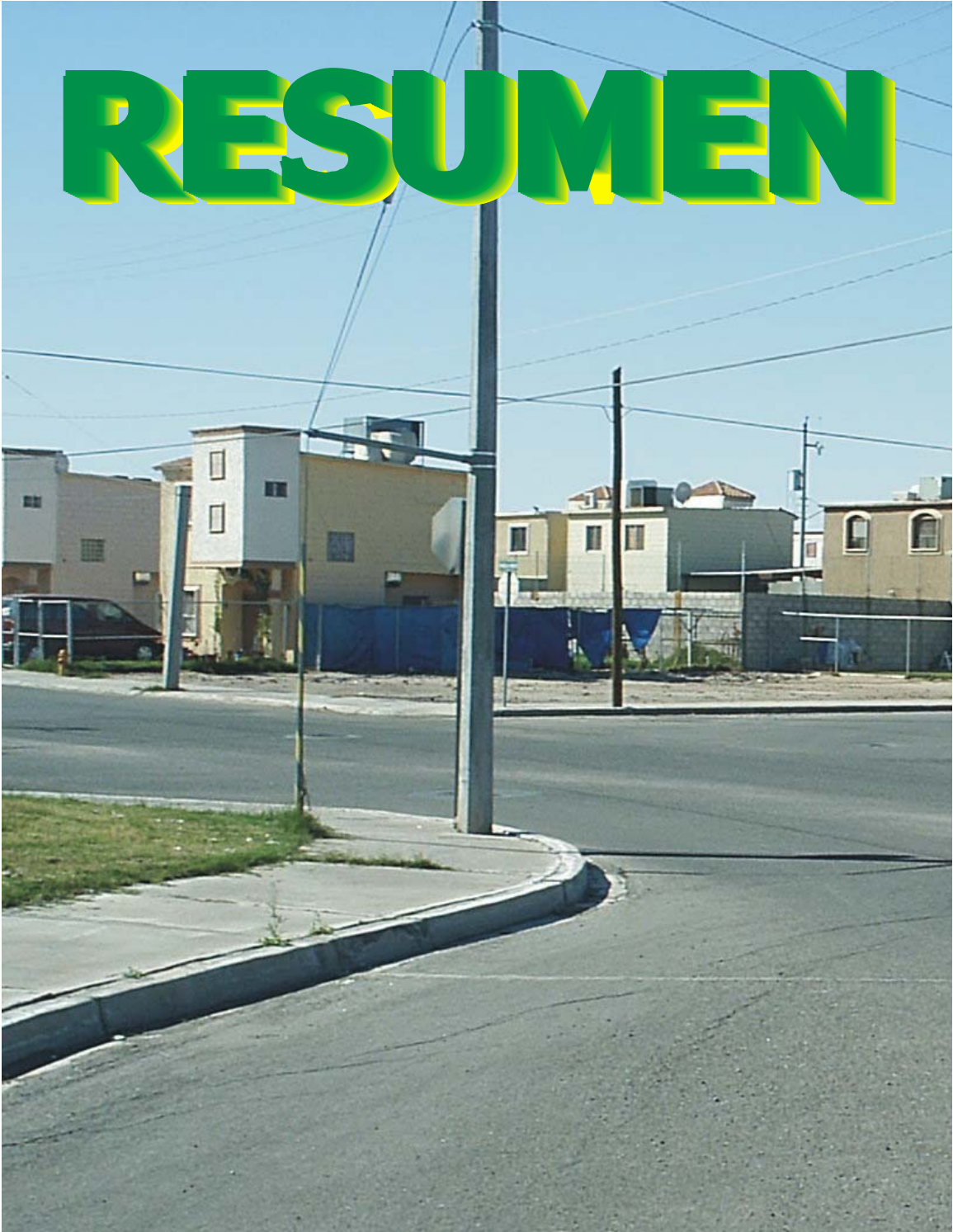
AGRADECIMIENTO ESPECIAL A
DR. CARLOS PÉREZ TELLO

ÍNDICE

Resumen		vii
Capítulo 1	Introducción _____	9
	Objetivos generales _____	14
	Objetivos particulares _____	14
Capítulo 2	Antecedentes _____	17
	2.1.- Humedad _____	17
	2.2.- Registro histórico de humedad relativa para Mexicali B. C., México _____	20
	2.3.- Análisis histórico de humedad relativa para Mexicali B. C., México _____	23
	2.4.- Metodología de funciones de transferencia ____	28
	2.5.- Resistencia térmica _____	29
	2.6.- Coeficientes de transferencia _____	32
	2.7.- Parámetros Solares _____	33
	2.8.- Temperatura horaria _____	38
	2.9.- Horas – grado _____	39
	2.10.- Temperatura aire – sol _____	41
	2.11.- Coeficientes del espacio _____	43
	2.12.- Ganancia de calor _____	50
	2.13.- Ganancia de calor por infiltración _____	54
	2.14.- Carga de enfriamiento _____	56
	2.15.- Retiro de calor _____	57

	2.16.- Consumo, demanda y facturación eléctrica _	61
Capítulo 3	Simulación _____	66
	3.1.- Secuencia de simulación _____	66
	3.2.- Simulador térmico _____	71
Capítulo 4	Discusión de resultados _____	89
Capítulo 5	Conclusiones _____	96
Apéndice A	_____	101
Apéndice B	_____	108
Bibliografía	_____	116

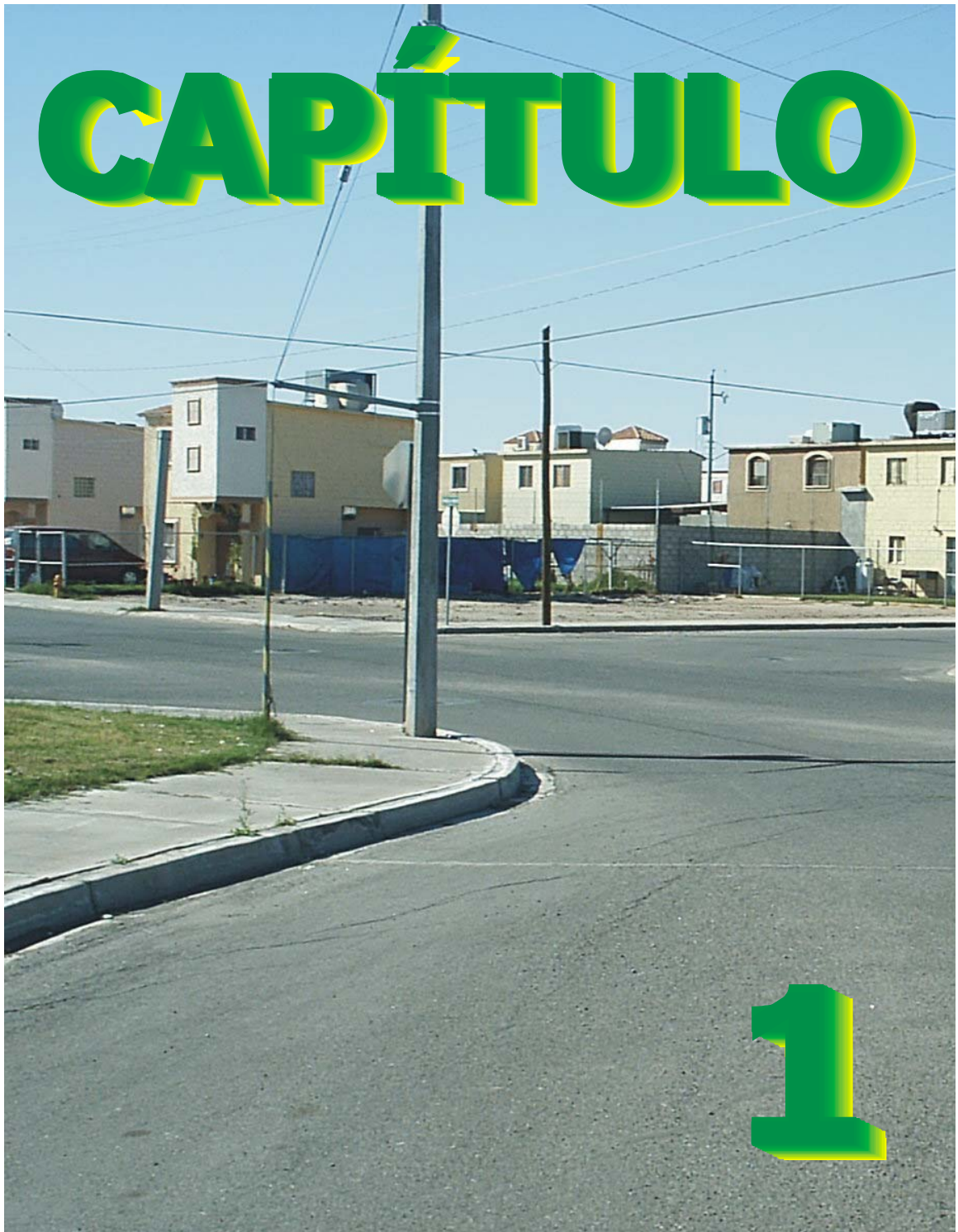
RESUMEN



RESUMEN

Se desarrolló un simulador de cómputo que opera en habiente Windows y escrito en lenguaje Visual Basic 6, para que su manejo sea amigable a los usuarios en general. Cuenta con ventanas individuales de captura de información y una amplia base de datos de materiales de construcción que se requieren para el cálculo térmico de edificaciones de hasta cinco niveles bajo diferentes condiciones constructivas. Cuenta con información climatológica detallada de varias ciudades del norte de México y Cuba.

La simulación térmica se basa en el Método de Funciones de Transferencia reportado por ASHRAE. En el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California se realizaron modificaciones a esta metodología, consistente en el cálculo de la temperatura horaria basado en un modelo matemático desarrollado por un estudio histórico de las temperaturas de la región. Además se utiliza una función desarrollada a partir de registros históricos de humedades horarias para Mexicali. Por último, para calcular la facturación mensual en el periodo de verano, en la simulación se utiliza la metodología horas grado la cual ha demostrado su utilidad y elevado grado de correlación con los requerimientos energéticos de una región.



1. INTRODUCCIÓN

Las personas en general al realizar sus actividades diarias deben sentirse en un ambiente confortable, ¿qué significa esto?, que desde el punto de vista de la temperatura, no debe ser un ambiente muy caliente o muy frío pero tampoco debe ser un ambiente muy húmedo o muy seco así como una velocidad de aire adecuado. En base a esto se puede concluir que existen tres factores muy importantes para determinar si un ambiente es cómodo para las personas, estos factores son:

- Temperatura.
- Humedad relativa.
- Flujo de aire.

Es importante mencionar que un ambiente confort también depende de otro factor que es un tanto subjetivo y se refiere a la persona misma. Así, mientras ciertas condiciones de temperatura, humedad relativa y flujo de aire pueden ser agradables para una persona, para otra no lo son. Esto hace evidente la necesidad de definir los límites e intervalos de temperatura, humedad relativa y flujo de aire, la combinación de ellos los producen la sensación de confort o incomodidad en las personas. La Tabla 1.1 muestra los intervalos reportados de estas variables.

Tabla 1.1: Intervalos de confort

FACTOR	INTERVALO
Temperatura	22 °C - 27 °C
Humedad relativa	40 % - 60 %
Velocidad del aire	15 m/min

(Yunus A. Cengel y Michael A Boles, Termodinámica 2003)

De esta manera, una persona buscará un ambiente cuyas condiciones sean de confort ya sea en su lugar de trabajo o residencia aunque en diversas ocasiones no se logra por diferentes razones de índole económica, laboral, etc. La solución a este problema es el acondicionamiento del espacio donde se encuentra la persona, y, en el caso de Mexicali y regiones con clima similar se vuelve un aspecto no de confort sino de supervivencia.

En zonas como Mexicali, las condiciones del medio ambiente son factores que constituyen notablemente a la captación de cargas térmicas por las diferentes construcciones en la ciudad. Estas, a su vez, se reflejan en un mayor consumo de energía eléctrica para climatización y, por ende, una facturación mayor.

Actualmente existe un incremento en la construcción de fraccionamientos, establecimientos comerciales y naves industriales, cuyo consumo eléctrico depende del clima de la región, los materiales de construcción, aislamiento, ocupación, equipos, iluminación, etc. También existen construcciones no muy recientes a las cuales se

requiere aplicar acciones correctivas para disminuir el consumo mensual.

Por ello es necesario disponer de una metodología que permita determinar las cargas de enfriamiento, el consumo y la facturación para realizar la evaluación técnica del comportamiento de los diferentes sistemas constructivos. Una vez conocido dicho comportamiento se pueden plantear cambios y analizar estos como alternativas de ahorro de energía, por ejemplo, variar el espesor de aislamiento, adquirir una mayor eficiencia del equipo de aire acondicionado, entre otras medidas y posteriormente realizar una nueva evaluación y tomar una decisión en base a ella.

Para realizar esto es necesario contar con un programa de cómputo que opere en ambiente Windows, para que su manejo sea amigable a los usuarios en general. A este paquete se le conoce como simulador térmico, y permite:

- Realizar el cálculo de ganancias de calor, cargas de enfriamiento, rapidez de retiro de calor y la facturación para una construcción determinada con resultados muy cercanos a los valores reales.
- Hacer modificaciones al diseño de la construcción en caso de así requerirlo con el propósito de eficientizar el empleo de la energía y reducir la facturación eléctrica.

- Analizar el impacto en el comportamiento energético de la construcción al variar diferentes condiciones ya sea climáticas, constructivas o de uso energético.

Hoy en día existen diferentes simuladores térmicos comerciales que se pueden utilizar para la evaluación técnica de una región en general del planeta, pero no existe un simulador térmico específico para las regiones que se analizan en el contexto del presente trabajo y que se orientan a climas del noroeste de México y regiones tropicales así como a los sistemas constructivos típicos del países latinoamericanos. Por eso en el área de Sistemas Energéticos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California ha venido trabajando en dicha área de trabajo desde hace tiempo. Se ha avanzado en la adecuación de la metodología general de evaluación técnica a las regiones específicas de Mexicali, Tijuana, Ensenada, Hermosillo y Cienfuegos.

El simulador térmico se basa en el Método de Funciones de Transferencia para el cálculo de las ganancias de calor de la envolvente de una construcción, que después se convierten en cargas de enfriamiento y por último en facturación mensual. En dicho cálculo se debe tomar en cuenta la ganancia de calor debido a la infiltración, que a su vez depende de la humedad específica horaria de la región.

Los simuladores térmicos generalmente consideran una humedad promedio para el periodo de verano para realizar los cálculos.

Por lo tanto, uno de los propósitos del presente trabajo es desarrollar una función matemática que permita determinar la humedad relativa promedio horaria mensual, basándose en un estudio histórico de la humedad relativa para Mexicali y que incorpore de manera más realista su efecto así como la de analizar su impacto en la carga térmica de una envolvente. Así mismo, calcular la facturación mensual utilizando la tarifa de la región, la función matemática de humedad relativa y hacer una comparación con la obtenida con un simulador térmico basado en la metodología de función de transferencia escrito en Excel, que es el que actualmente se emplea en el Instituto de Ingeniería.

Además se desarrollará un simulador térmico en ambiente Windows que permita hacer una evaluación técnica para casas habitación, establecimientos comerciales e industrias, de una manera sencilla y rápida para cualquier usuario del simulador. El simulador debe ser competitivo con los simuladores comerciales para poder ofrecerse como una nueva manera de hacer evaluaciones técnicas a nivel regional, nacional e internacional.

Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar un programa computacional en ambiente Windows y escrito en lenguaje Visual Basic 6 para simulación térmica de edificaciones en climas cálidos basada en el Método de funciones de Transferencia, para que su manejo sea amigable a los usuarios en general.

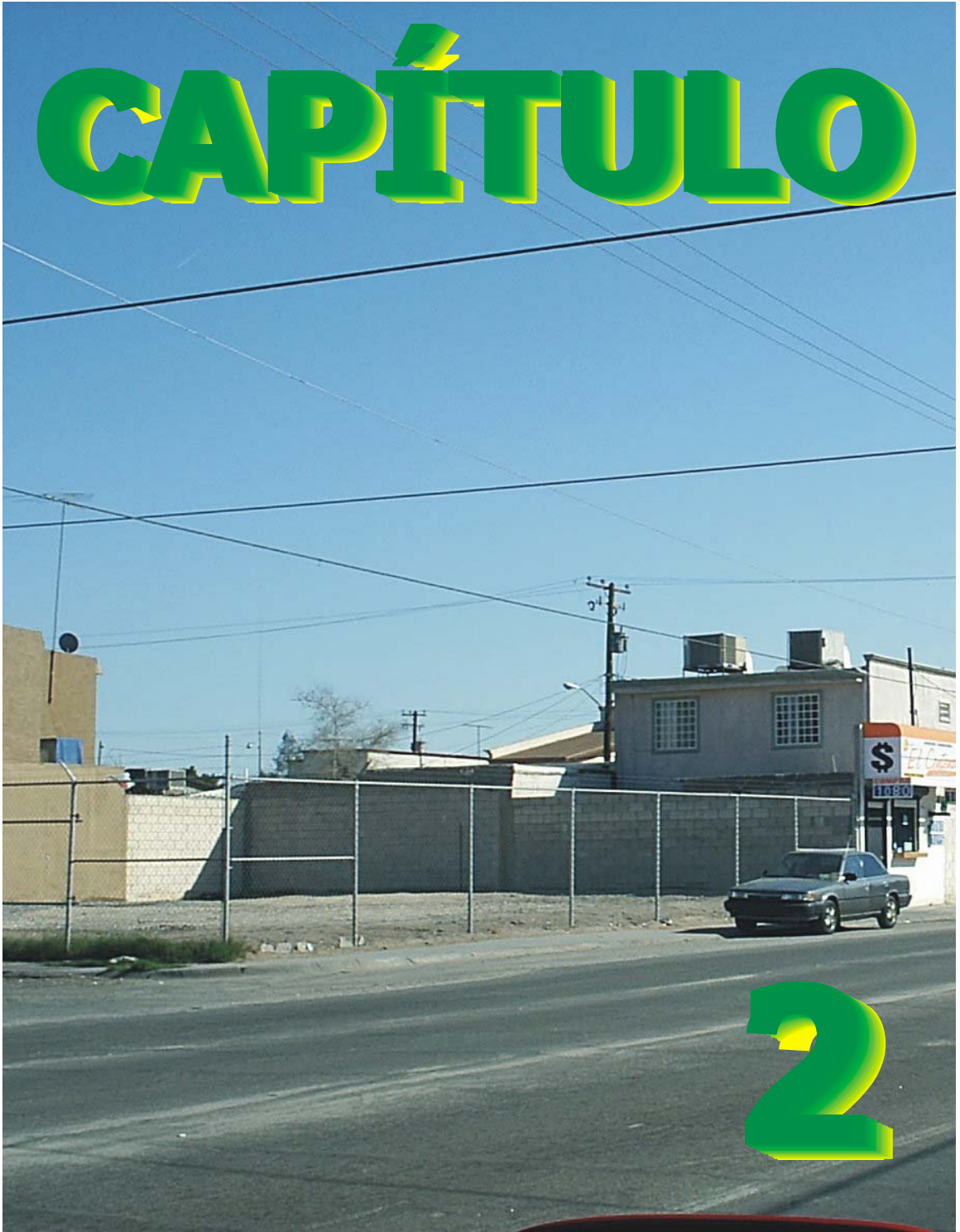
Objetivos particulares

- Incorporar una base de datos que caractericen los diferentes materiales y sistemas constructivos regionales y de localidades similares.
- Desarrollar un simulador que cuente con una base de datos regional de los materiales de construcción.
- Correlacionar Horas-Grado con Carga de enfriamiento y retiro de calor y determinar la facturación mensual durante todo el periodo de verano utilizando la tarifa regional.
- Desarrollar una función que describa el comportamiento de la humedad horaria mensual a partir de registros históricos de humedad relativa en Mexicali de 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003.
- Calcular ganancias de calor por humedad relativa como una función horaria mensual.

- Realizar la validación del simulador térmico, utilizando un caso real de construcción.

CAPÍTULO

2



2. ANTECEDENTES

2.1 Humedad

El aire seco está compuesto por una mezcla de gases de nitrógeno, oxígeno, argón y trazas de otros gases (ver Tabla 2.1), en el medio ambiente no existe el aire seco, pero siempre lo podremos encontrar acompañado con una cantidad de vapor de agua llamada humedad que varía dependiendo de las condiciones del clima de la región, esta variación de humedad es uno de los factores que marca la pauta del nivel de comodidad para un persona en una región por lo tanto es importante conocer la cantidad de humedad presente en el aire atmosférico el cual puede adecuarse mediante climatización hasta las condiciones de confort para el ser humano. El estudio de las operaciones con aire y humedad se denomina psicrometría y en ella destaca, entre otros, dos conceptos importantes:

Humedad absoluta

Es la masa de vapor de agua presente en una masa unitaria de aire seco que existe en el aire húmedo, expresada de la siguiente forma:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{kg vapor de agua/ kg aire seco}) \quad (2.1)$$

$$\omega = \frac{0.622P_v}{P - P_v} \quad (2.2)$$

Donde:

ω = Humedad específica o absoluta.

m_v = Masa de vapor de agua.

m_a = Masa de aire seco.

P = Presión total (presión de la mezcla vapor de agua y aire seco).

P_v = Presión de vapor del agua.

En la simulación térmica para el cálculo de ganancia de calor por infiltración se emplea la humedad específica, por lo tanto la humedad relativa proveniente del modelo matemático no se puede utilizar directamente, debido a lo antes mencionado se tiene que convertir a una humedad específica. La obtención del modelo matemático se encuentra descrita detalladamente en la sección 2.13.

Humedad relativa

Se define como la relación entre la masa de vapor de agua que existe en el aire y la masa máxima de vapor de agua que puede contener el aire a la misma temperatura, expresada de la siguiente forma:

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} \quad (2.3)$$

$$\phi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega)P_g} \quad (2.4)$$

Donde:

ϕ = Humedad relativa.

ω = Humedad específica o absoluta.

P = Presión total (presión de la mezcla vapor de agua y aire seco).

$P_g = P_{sat@T}$ = Presión de saturación del agua a una temperatura.

La humedad relativa varía entre 0 y 1, en la mayoría de bibliografía especializada se reporta como porcentaje de humedad relativa, la ecuación 2.4 se tiene que multiplicar por 100 para dejarla en base a porcentaje. La información histórica de la humedad relativa proporcionada por el grupo de Meteorología del Instituto de Ingeniería se encuentra reportada en porcentaje, entonces es necesario convertir la humedad relativa a humedad específica mediante la ecuación 2.5 para utilizar en el simulador térmico.

$$\omega = \frac{0.622\phi P_g}{P - P_g} \quad (2.5)$$

Tabla 2.1: Composición del aire seco.

GAS	COMPOSICIÓN (%)
Nitrógeno (N ₂)	78.08
Oxígeno (O ₂)	20.95
Argón (Ar)	0.93
CO ₂ , CO, SO ₂ , SO ₃	0.03
Xenón, Kriptón	Trazas

(José M. Pinazo Ojer, Manual de Climatización Tomo I 1999)

2.2 Registro histórico de humedad relativa para Mexicali B. C.

El grupo de Meteorología del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California es el encargado de realizar la medición de la humedad relativa horaria de Mexicali y así como llevar un registro de la humedad relativa horaria de Mexicali para diferentes años. Estos registros fueron proporcionados al Área de Sistemas Energéticos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, para hacer un estudio detallado del comportamiento de la humedad relativa a través de los años para Mexicali.

La Figura 2.1 muestra el comportamiento horario de la humedad relativa para el día 11 julio de los años 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003. A simple vista se puede observar que la humedad relativa horaria para un día ha estado cambiando con el paso de los años, debido a esto se toma la humedad relativa horaria promedio diaria para el tratamiento estadístico.

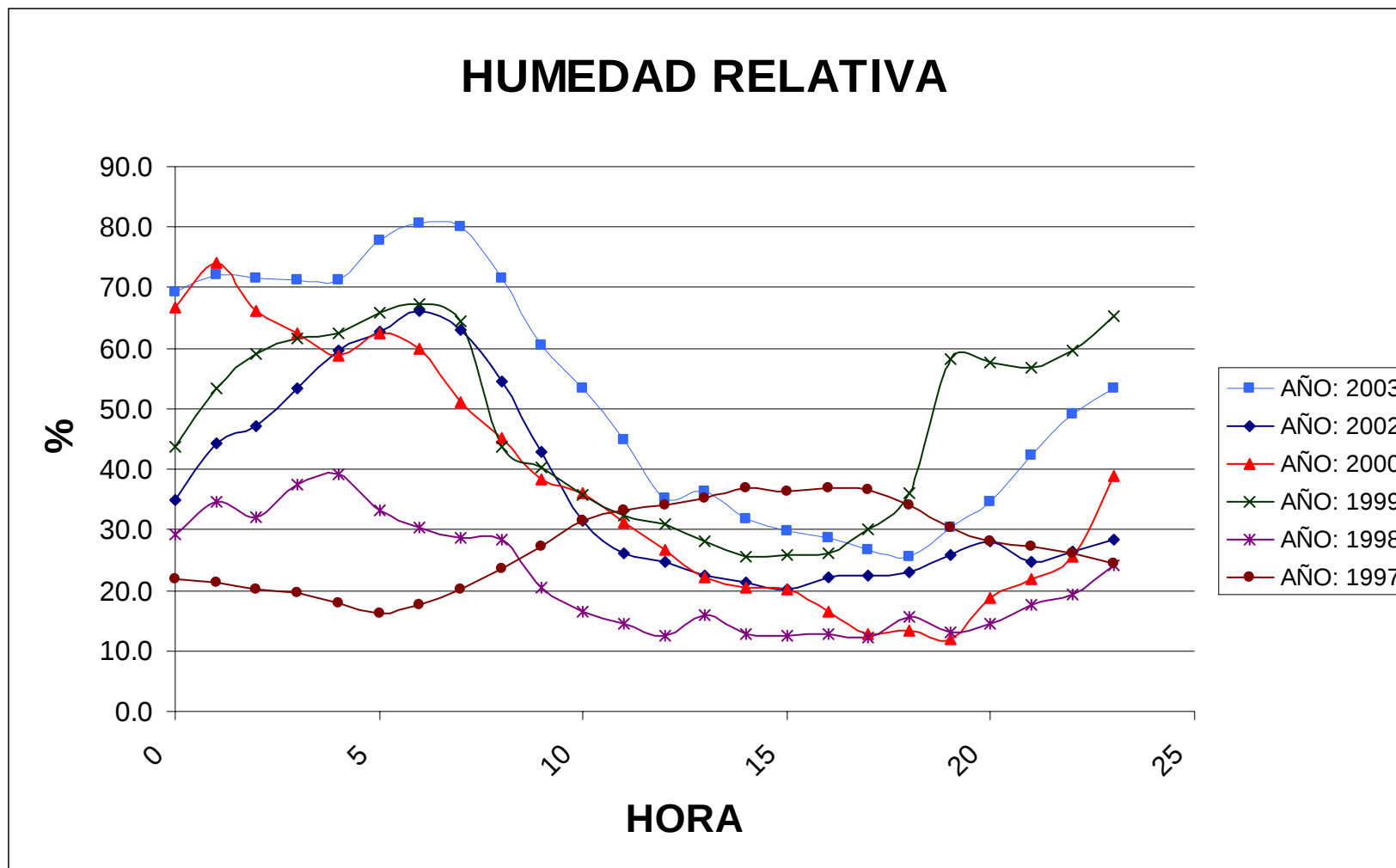


Figura 2.1: Humedad relativa horaria

En la Figura 2.2 se muestra el comportamiento de la humedad relativa horaria promedio diaria para el día 11 de julio de los años 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003. De esta manera el comportamiento de la humedad horaria se vuelve más estable para el tratamiento estadístico, por eso es necesario contar con la mayor cantidad de información histórica de la humedad relativa horaria.

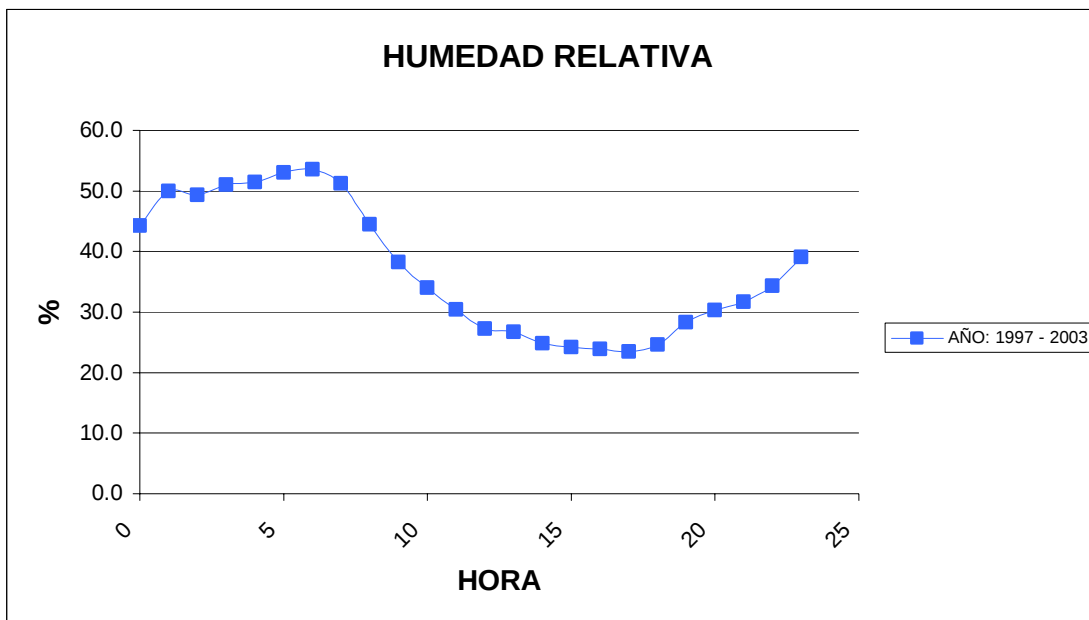


Figura 2.2: Humedad relativa horaria promedio diaria

La función matemática obtenida es el resultado de un análisis estadístico de los datos históricos de humedad relativa disponibles como se detalla, en la sección 2.3. La función polinomial obtenida para la humedad relativa se debe expresar en humedad específica promedio horaria mensual para Mexicali y así utilizarla en el cálculo de ganancia horaria de calor por infiltración y/o ventilación cuando se está realizando un estudio térmico para diferentes construcciones en la

ciudad debido a que anteriormente se utiliza la humedad específica promedio horario mensual para el periodo de verano.

2.3 Análisis histórico de humedad relativa para Mexicali B. C.

Para efectuar el tratamiento estadístico de los registros de humedad y así obtener un modelo de ajuste de los mismos se utilizó el siguiente procedimiento:

a) Tabular la humedad relativa horaria para cada día de un mes de cada año.

Los datos de humedad relativa horaria tabulados correspondieron a los meses de enero a diciembre de los años 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003 para Mexicali. Este arreglo se hace para tener un mejor manejo de la información y además se graficó el comportamiento horario de la humedad relativa de cada día para tener una mejor visión del comportamiento de la humedad relativa cuando se está haciendo el tratamiento estadístico, que busca obtener una función de ajuste del comportamiento horario de la humedad relativa.

En la Tabla A.1 del Apéndice A se muestra una tabulación para el mes de julio del año 2003 que consiste en una hoja de Excel donde la columna principal representa los días del mes, mientras el renglón principal representa la hora del día y se llena con la humedad relativa que corresponde a cada hora de un día determinado.

b) Cálculo de la humedad relativa promedio horaria para cada día de un mes.

Una vez tabulada la humedad relativa horaria para cada día de un mes de cada año, se calcula la humedad relativa promedio horaria de cada día del mes de los años históricos que se tienen, que consiste en sumar la humedad relativa de un día y una hora determinada de los años históricos y se divide entre el total de años históricos, estos resultados se colocan en una tabla nueva.

Esto se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \overline{HR}_{j,k} &= \frac{\sum_{i=1}^N HR_{i,j,k}}{N} \\ j &\rightarrow M \\ k &\rightarrow L \end{aligned} \quad (2.6)$$

Donde:

$\overline{HR}_{j,k}$ = Humedad relativa promedio horaria cada día un mes.

$HR_{i,j,k}$ = Humedad relativa

N = Número de años históricos con que se cuenta para el estudio

M = Día del mes

L = Hora del día

La Tabla A.2 del Apéndice A muestra la $\overline{HR}_{j,k}$ para el mes de julio, esta metodología se tiene que seguir para cada mes del año.

c) Cálculo de humedad relativa promedio horaria mensual de los años históricos.

Se realiza una media con los años históricos, que consiste en sumar la humedad relativa para una hora determinada para todos los días de un mes seleccionado y dividir en el total de humedades relativas sumadas (días del mes x número de años históricos), los cuales nuevamente se van a tabular.

La humedad relativa promedio horaria mensual de los años históricos se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\overline{HR}_k = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M HR_{i,j,k}}{NM} \quad (2.7)$$

$k \rightarrow L$

Donde:

$\overline{HR}_k$ = Humedad relativa promedio horaria mensual de los años históricos

$HR_{i,j,k}$ = Humedad relativa

N = Número de años históricos con que se cuenta para el estudio

M = Día del mes

L = Hora del día

La Tabla A.3 del Apéndice A muestra la $\overline{HR}_k$ para el mes de julio, al igual que el paso anterior se aplica esta metodología para el resto de los meses del año.

d) Cálculo del porcentaje de desviación entre la humedad relativa promedio horaria de cada día de un mes y la humedad relativa promedio horaria mensual de los años históricos.

Consiste en restar la humedad relativa promedio horaria para cada día de un mes, la humedad relativa promedio horaria mensual de los años históricos y dividirla entre la humedad relativa promedio horaria para cada día de un mes y ese resultado se multiplica por 100, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\%D_{j,k} = \left(\frac{\overline{HR}_{j,k} - \overline{HR}_k}{\overline{HR}_{j,k}} \right) (100) \quad (2.8)$$

$\%D_{j,k}$ = Porcentaje de desviación.

$\overline{HR}_{j,k}$ = Humedad relativa promedio horaria para cada día de un mes.

$\overline{HR}_k$ = Humedad relativa promedio horaria mensual de los años históricos.

Esto se realiza para determinar si el valor de humedad relativa promedio horaria para cada día de un mes se desvía de el valor de humedad relativa promedio horaria mensual de los años históricos y con ello calcular una desviación estándar horaria mensual.

La Tabla A.4 del Apéndice A muestra algunos días del mes de julio a los cuales se calculó el porcentaje de desviación.

e) Teniendo el porcentaje de desviación se calcula la desviación estándar horaria mensual y por último se hace un promedio de esas

desviaciones estándar, si dicho promedio está entre 10 % - 15 % se puede ajustar a una ecuación, aplicando un método de ajuste que sea conveniente. Por ejemplo para el mes de julio se obtuvo un promedio de desviación de 9.25 %, como se puede observar en la Tabla A.4 del Apéndice A.

f) A la humedad relativa promedio horaria mensual se aplica un ajuste polinomial de orden 3 a orden 6 en una hoja de Excel, teniendo como resultado que el polinomio de orden 6 que tiene una r^2 superior a 0.993 para el mes de Julio (ver Figura 2.3), es la mejor aproximación de la humedad relativa promedio horaria mensual que fue calculada de años históricos. Los polinomios de orden 5, orden 4 y de orden 3 para el mes de Julio tienen una r^2 de 0.976, 0.971 y 0.927 respectivamente (Figuras A.1, A.2 del Apéndice A), también son una buena aproximación y un poco mas sencillas de resolver manualmente que un polinomio de orden 6, pero se decidió por el polinomio de orden 6, debido a que este se programó para su resolución en el simulador térmico.

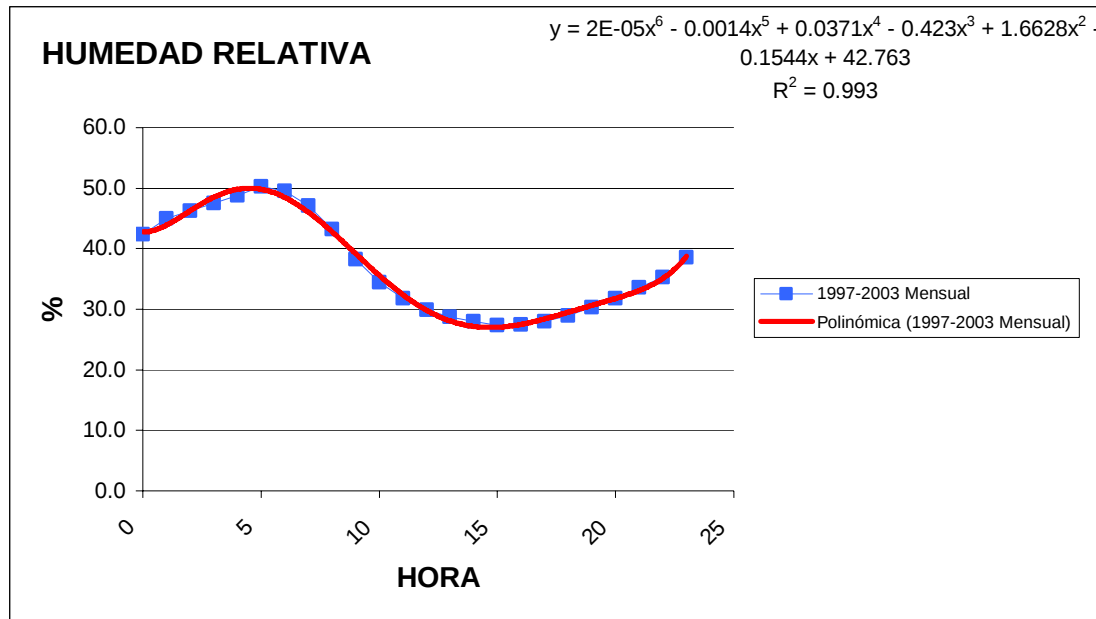


Figura 2.3: Polinomio de orden 6.

2.4 Metodología de funciones de transferencia

El Método de las Funciones de Transferencia (MFT) se basa en dos conceptos:

- Funciones de Transferencia por Conducción (FTC)
- Factores de Ponderación (FP)

La Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE por sus siglas en inglés) cuenta con una amplia base de datos para los cálculos de funciones de transferencia por conducción y factores de ponderación que se usan para la estimación de las ganancias de calor horaria hacia un espacio acondicionado.

En el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, en el Área de Sistemas Energéticos se adaptó el método de funciones de transferencia para las condiciones y requerimientos regionales utilizando los sistemas computacionales, datos climatológicos y parámetros técnicos y económicos. Los resultados han sido validados con mediciones y monitoreo de campo, además de un estudio histórico de consumo, demanda y facturación eléctrica utilizando la tarifa de la región, a través de diversos proyectos y trabajos desde 1993 al 2005. Los detalles de dicha metodología pueden consultarse en el texto de McQuinston y col. (2002).

2.5 Resistencia térmica

La resistencia térmica R de un material se define como la capacidad para evitar que un flujo de calor atraviese dicho material. Si el valor de la resistencia térmica de un material es alto significa que tiene una mayor capacidad para evitar que un flujo de calor pase por él mediante el mecanismo de conducción, en tanto que un valor bajo de resistencia térmica, significa una mayor facilidad de conducir el calor.

Por lo antes mencionado, un material aislante es aquel que opone una mayor resistencia a conducir el calor. Los mejores aislantes son aquellos que tienen una elevada resistencia térmica. La ecuación 2.9 se aplica para calcular la velocidad de transferencia de calor por

conducción, con esta ecuación se puede apreciar mejor cómo afecta la resistencia térmica a la transferencia de calor.

$$q = \frac{1}{R} A \Delta T \quad (2.9)$$

Donde:

q = Velocidad de transferencia de calor, $\frac{Btu}{h}$

R = Resistencia térmica, $\frac{hft^2 \text{ } ^\circ F}{Btu}$

A = Área de la superficie, ft^2

ΔT = Diferencia de temperatura, $^\circ F$

Si en la ecuación 2.9 se sustituye un valor elevado de resistencia térmica, q será pequeño y viceversa, es decir, la velocidad de transferencia de calor q es inversamente proporcional a la resistencia térmica.

Cuando se realiza una evaluación técnica es importante conocer los materiales que constituyen la envolvente de la construcción para así determinar sus propiedades. ASHRAE reporta una tabla de propiedades de los materiales más comunes de construcción. La Tabla 2.2 muestra las propiedades de los materiales más comunes en muros y techos así como la nomenclatura que los identifica.

Tabla 2.2: Propiedades de algunos materiales usados en muros y techos.

Código	Descripción	Espesor <i>ft</i>	k $\frac{Btu}{hft^{\circ}F}$	ρ $\frac{lb}{ft^3}$	C_p $\frac{Btu}{lb^{\circ}F}$	R $\frac{^{\circ}Fft^2h}{Btu}$	Masa / Área $\frac{lb}{ft^2}$
A0	Resistencia superficie exterior	0	0	0	0	0.33	0
A2	Ladrillo cara 4 pulg	0.333	0.77	125	0.22	0.43	41.7
A3	Recubrimiento de acero	0.005	26	480	0.1	0	2.4
A4	Pedaceria ½ pulg	0.042	0.11	70	0.4	0.38	2.2
A6	Acabados	0.042	0.24	78	0.26	0.17	3.3
B1	Resistencia al aire libre	0	0	0	0	0.91	0
B2	Aislamiento 1 pulg	0.083	0.03	2	0.2	3.33	0.2
B3	Aislamiento 2 pulg	0.167	0.03	2	0.2	6.67	0.3
B4	Aislamiento 3 pulg	0.25	0.03	2	0.2	10	0.5
B7	Madera 1 pulg	0.083	0.07	37	0.6	10	3.1
B8	Madera 2 ½ pulg	0.208	0.07	37	0.6	2.98	7.7
B9	Madera 4 pulg	0.333	0.07	37	0.6	4.76	12.3
B10	Madera 2 pulg	0.167	0.07	37	0.6	2.39	6.2
C1	Loseta de arcilla de 4 pulg	0.333	0.33	70	0.2	1.01	23.3
C2	Block concreto ligero 4 pulg	0.333	0.22	38	0.2	1.51	12.7
C3	Block concreto pesado 4 pulg	0.333	0.47	61	0.2	0.71	20.3
C4	Ladrillo común de 4 pulg	0.333	0.42	120	0.2	0.79	40
C5	Concreto pesado 4 pulg	0.333	1	140	0.2	0.33	46.7
C6	Loseta de arcilla 8 pulg	0.667	0.33	70	0.2	2	46.7
C8	Block concreto pesado 8 pulg	0.667	0.6	61	0.2	1.11	40.7
C9	Ladrillo común 8 pulg	0.667	0.42	120	0.2	1.59	80
C10	Concreto pesado 8 pulg	0.667	1	140	0.2	0.67	93.4
C11	Concreto pesado 12 pulg	1	1	140	0.2	1	140
C13	Concreto pesado 6 pulg	0.5	1	140	0.2	0.5	70
C18	Block conc. Pesado 8 pulg (lleno)	0.667	0.34	53	0.2	1.96	35.4
C19	Block conc. Ligero 12 pulg (lleno)	1	0.08	19	0.2	12.5	19
C20	Block conc. Pesado 12 pulg (lleno)	1	0.39	56	0.2	2.56	56
E0	Resistencia superficie interior	0	0	0	0	0.69	0
E1	Emplaste ¾ pulg	0.063	0.42	100	0.2	0.15	6.3
E4	Cielo	0	0	0	0	1	0
E5	Loseta acústica	0.063	0.04	30	0.2	1.79	1.9

(ASHRAE, Cooling and Heating Calculation Manual 1992)

Donde:

k = Conductividad térmica

ρ = Densidad

C_p = Calor específico

R = Resistencia térmica

En el análisis técnico de una construcción se debe considerar los materiales aislantes con mayor resistencia térmica y que estén disponibles en el mercado para que la evaluación de alternativas produzca resultados y propuestas factibles técnica y económicamente.

2.6 Coeficientes de transferencia

La absorción de energía de una construcción está basada en los tres mecanismos de transferencia el calor, que son la radiación, convección y conducción. El MFT hace un arreglo de tal manera que la absorción de energía de la construcción quede en función de la conducción, en la sección 2.12 se explica detalladamente el arreglo por el MFT.

La absorción de energía a través de techo y muros de la envolvente de una construcción está controlada esencialmente por el mecanismo de conducción.

$$q = UA\Delta T \quad (2.10)$$

Donde:

q = Velocidad de transferencia de calor, $\frac{Btu}{h}$

U = Coeficiente de transferencia, $\frac{Btu}{hft^2°F}$

A = Área de la superficie, ft^2

ΔT = Diferencia de temperatura, $°F$

El coeficiente de transferencia de calor se define por la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R} \quad (2.11)$$

Por lo que existe una relación entre resistencia térmica R y el coeficiente de transferencia U . Para un material que tiene un valor elevado de R da como resultado un valor bajo de U que significa que es un material que no permite la conducción de calor a través de él.

2.7 Parámetros solares

Una superficie es calentada en el transcurso del día debido a la radiación solar que incide sobre dicha superficie, este calentamiento ocasiona una ganancia de calor hacia el interior de una envolvente. La intensidad de radiación es la cantidad de energía que incide por unidad de superficie. La energía es absorbida por muros, techos, puertas y ventanas.

La intensidad solar normal directa sobre la superficie terrestre para un día claro es:

$$I_{DN} = Ae^{\left(\frac{-B}{\text{Sen}\beta}\right)} \quad (2.12)$$

Donde:

A, B = Parámetros solares, que se muestran en la Tabla 3.3

I_{DN} = Intensidad de radiación solar normal directa $\frac{Btu}{hft^2}$

La radiación directa I_D sobre la superficie se obtiene de multiplicar la radiación normal directa I_{ND} por el coseno del ángulo incidente θ .

$$I_D = I_{DN} \cos \theta \quad (2.13)$$

Donde:

$\cos \theta > 0$, para un ángulo θ menor que cero, la radiación directa $I_D = 0$.

Para superficies verticales, por ejemplo muros, y para superficies horizontales, por ejemplo techos, la cantidad de radiación difusa incidente se determina por la siguiente expresión:

$$Y = 0.55 + 0.473 \cos \theta + 0.31 \cos^2 \theta \quad (2.14)$$

Donde:

$\cos \theta > -0.2$, de otro modo, $Y = 0.45$.

La intensidad de radiación difusa es representada por

$$I_d = I_{ds} + I_{dg} \quad (2.15)$$

Donde:

I_d = Intensidad de radiación difusa, $\frac{Btu}{hft^2}$

I_{ds} = Radiación difusa incidente sobre la superficie proveniente del cielo, $\frac{Btu}{hft^2}$

I_{dg} = Radiación difusa incidente sobre la superficie reflejada por la tierra, $\frac{Btu}{hft^2}$

Para superficies verticales:

$$I_{ds} = CYI_{DN} \quad (2.16)$$

$$I_{dg} = I_{DN} (C + \text{sen}\beta) \frac{\rho_g}{2} \quad (2.17)$$

Donde:

C = Parámetro solar

ρ_g = Reflectancia de la tierra, usualmente $\rho_g = 0.2$

Para superficies no verticales:

$$I_{ds} = CI_{DN} \frac{(1 + \cos \Sigma)}{2} \quad (2.18)$$

$$I_{dg} = I_{DN} (C + \text{sen}\beta) \rho_g \frac{(1 - \cos \Sigma)}{2} \quad (2.19)$$

La intensidad de radiación total incidente sobre la superficie es:

$$I_t = I_D + I_d \quad (2.20)$$

Los términos β, Σ de las expresiones anteriores provienen del ángulo solar, la posición solar es dependiente del tiempo solar:

$$\text{Tiempo solar} = \text{Tiempo estándar} + 4(L_{st} - L_{loc}) + E \quad (2.21)$$

Donde:

L_{st} = Meridiano estándar para la zona en grados.

L_{loc} = Longitud del lugar

E = Parámetro para la ecuación del tiempo

En horario de invierno:

$$\text{Tiempo estándar} = \text{Tiempo de horario de verano} - 1 \quad (2.22)$$

El ángulo horario es:

$$H = \frac{\text{Minutos desde la hora local del medio día}}{\left[\frac{4\text{min}}{\text{Grados de longitud}} \right]} \quad (2.23)$$

La altitud solar β es el ángulo del sol sobre la horizontal y está determinada por:

$$\text{sen}\beta = \cos L \cos \delta \cos H + \text{sen}L \text{sen} \delta \quad (2.24)$$

Donde:

L = Latitud, en grados

δ = Declinación, en grados. Tabla 2.3

β = Altitud solar, en grados

El azimuth solar ϕ es el ángulo en el plano horizontal entre el sur real y la posición del sol, los ángulos del este al sur son negativos, y los ángulos del oeste al sur son positivos:

$$\cos \phi = \frac{(\text{sen}\beta \text{sen}L - \text{sen}\delta)}{\cos \beta \cos L} \quad (2.25)$$

Donde:

ϕ = Azimutal solar, en grados

La superficie-solar azimutal γ es el ángulo entre la proyección de los rayos solares en un plano horizontal y la proyección de la normal a la superficie en el plano horizontal, los ángulos del este al sur son negativos, y los ángulos del oeste al sur son positivos.

$$\gamma = \phi - \psi \quad (2.26)$$

Donde:

ψ = Superficie azimuthal, en grados

γ = Superficie-solar azimuthal, en grados

El ángulo incidente θ es el ángulo entre los rayos solares y la superficie solar;

$$\cos \theta = \cos \beta \cos \gamma \sin \Sigma + \cos \beta \cos \Sigma \quad (2.27)$$

Donde:

Σ = Superficie inclinada

$\Sigma = 0$ Para superficie horizontal

$\Sigma = 90$ Para superficie vertical

Tabla 2.3 Parámetros solares.

ECUACIÓN DE TIEMPO		DECLINACIÓN	A	B	C
Mes	min	grados	$\frac{Btu}{hft^2}$	Adimensional	Adimensional
Enero	-11.2	-20	381.2	0.141	0.103
Febrero	-13.9	-10.8	376.4	0.142	0.104
Marzo	-7.5	0	369.1	0.149	0.109
Abril	1.1	11.6	358.3	0.164	0.12
Mayo	3.3	20	350.7	0.177	0.13
Junio	-1.4	23.45	346.3	0.185	0.137
Julio	-6.2	20.6	346.6	0.186	0.138
Agosto	-2.4	12.3	351	0.182	0.134
Septiembre	7.5	0	360.2	0.165	0.121
Octubre	15.4	-10.5	369.7	0.152	0.111
Noviembre	13.8	-19.8	377.3	0.142	0.106
Diciembre	1.6	-23.45	381.8	0.141	0.103

(ASHRAE, Cooling and Heating Calculation Manual 1992)

2.8 Temperatura horaria

La temperatura de una determinada región se puede representar con una función periódica con respecto a las 24 horas del día. En el Área de Energía del Instituto de Ingeniería de la UABC con un estudio histórico de temperatura de la región se desarrolló un modelo matemático basado en una función periódica de Fourier que describe el comportamiento de la temperatura horaria para cualquier día del año. Dicha función es la siguiente:

$$\Theta(t) = \langle m \rangle + A \cos\left(\frac{2\pi t}{24}\right) + B \sin\left(\frac{2\pi t}{24}\right) \quad t = 1, 2, 3, \dots, 24 \quad (2.28)$$

$$\Theta(t) = \left(\frac{T_{\max} - T(t)}{T_{\max} - T_{\min}} \right) \quad (2.29)$$

Donde:

$\Theta(t)$ = Temperatura adimensional

$\langle m \rangle, A, B$ = Coeficientes de ajuste

$T_{\max}$ = Temperatura máxima

$T_{\min}$ = Temperatura mínima

Y:

$$\langle m \rangle = \frac{\sum_{t=1}^{24} m(t)}{24} \quad (2.30)$$

$$A = \frac{2}{24} \sum_{t=1}^{24} [m(t) - \langle m \rangle] \cos\left(\frac{2\pi t}{24}\right) \quad (2.31)$$

$$B = \frac{2}{24} \sum_{t=1}^{24} [m(t) - \langle m \rangle] \sin\left(\frac{2\pi t}{24}\right) \quad (2.32)$$

$$m(t) = \frac{\sum_{n=1}^N T(t, n)}{N} \quad t = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2.33)$$

Para determinar los coeficientes de ajuste de la función de Fourier se utilizaron registros históricos de temperaturas horarias experimentales, obteniéndose los valores mostrados en la Tabla 2.4 para la ciudad de Mexicali, B. C. (Pérez y col. 1996)

Tabla 2.4: Coeficientes de ajuste de la función periódica de Fourier.

CIUDAD	$\langle m \rangle$	A	B
Mexicali, B.C., México	0.53412	0.31367	0.31056
Cienfuegos, Cuba	0.49469	0.213	0.24652
Ensenada, B.C., México	0.54381	-0.37323	0.16051
Tijuana, B.C., México	0.58495	-0.36479	0.245
Hermosillo, Son., México	0.52958	0.23459	0.35243

(Pérez, 2004).

2.9 Horas – grado

Es un criterio que se utiliza para correlacionar un grupo de días base en el verano para obtener una función que permita caracterizar el comportamiento energético de una construcción en cuanto a consumo, demanda y facturación.

Las horas-grado están representadas por la siguiente ecuación:

$$HG = \int_{T_{ref}}^{T_{ext}} \int_{t=0}^{t=24} T dt dT \quad (2.34)$$

Resolviendo la doble integral se obtiene:

$$HG = 24[(T_{\max} - T^0) - 0.53412(T_{\max} - T_{\min})] \quad (2.35)$$

Donde:

HG = Horas-grado, $h^{\circ}F$

$T_{\max}$ = Temperatura máxima del día, $^{\circ}F$

$T_{\min}$ = Temperatura mínima del día, $^{\circ}F$

T^0 = Temperatura de referencia, $^{\circ}F$

Cuando se emplea el modelo matemático de horas-grado se pueden obtener tres posibles resultados:

- Horas-grado positivas: Indican requerimiento de enfriamiento.
- Horas-grado cero: Indican condiciones de confort, es decir, no es necesario climatizar el espacio.
- Horas grados negativas: Indican requerimiento de calefacción.

La Figura 2.4 muestra la representación esquemática de las horas-grado para los tres criterios antes descritos.

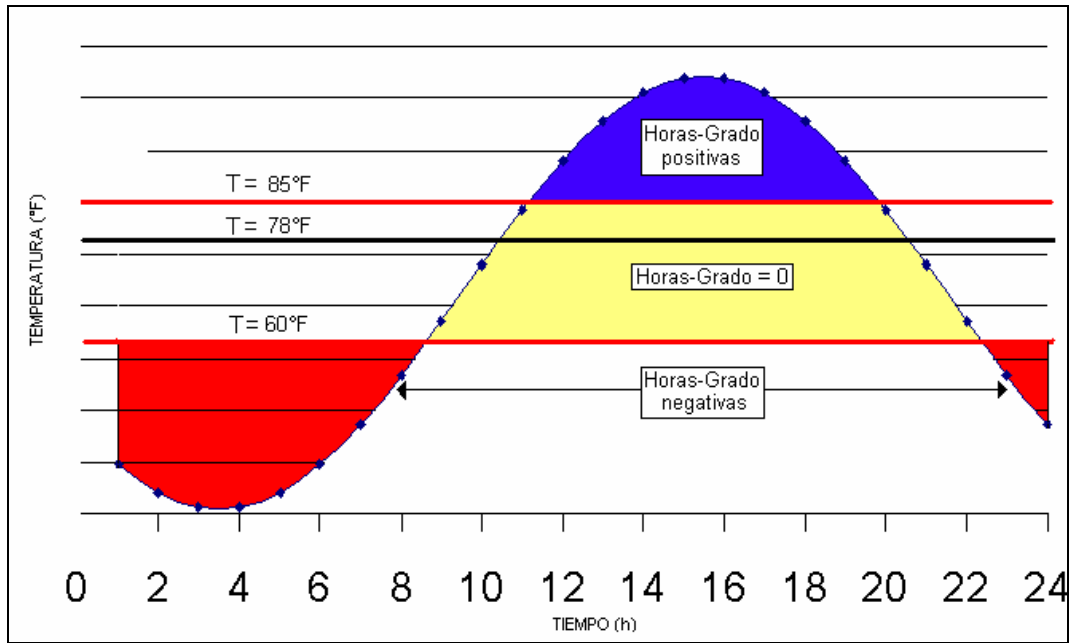


Figura 2.4: Horas-grado para un día del año.

2.10 Temperatura aire-sol

La ganancia de calor por absorción de radiación solar en una superficie se puede calcular por la siguiente expresión.

$$\frac{q}{A} = \alpha I_t + h_0(t_0 - t_s) - \varepsilon \delta R \quad (2.36)$$

Donde:

α = Absortancia por la superficie de la envolvente a la radiación solar.

I_t = Radiación solar total que incide en la superficie de la envolvente

$$\frac{Btu}{hft^2}$$

h_0 = Coeficiente de transferencia de calor convectivo y de longitud de

onda larga en la superficie externa de la envolvente $\frac{Btu}{hft^2 \text{ } ^\circ F}$.

t_0 = Temperatura del aire exterior $^\circ F$.

t_s = Temperatura de la superficie de la envolvente $^{\circ}F$.

ε = Emitancia de la superficie de la envolvente

δR = Diferencia entre la radiación de onda larga que incide sobre la superficie de la envolvente proveniente de la bóveda celeste y del entorno, y la radiación emitida por un cuerpo negro a la temperatura del aire exterior $\frac{Btu}{hft^2}$.

La temperatura aire-sol, t_e , se define como la temperatura que tendría el aire exterior para provocar el mismo efecto convectivo de flujo de calor hacia la superficie externa de la envolvente de una construcción en ausencia de luz solar e intercambio de calor por radiación de onda larga.

El flujo de calor convectivo se determina mediante la siguiente ecuación.

$$\frac{q}{A} = h_0(t_e - t_s) \quad (2.37)$$

Igualando la ecuación 2.37 en la ecuación 2.36 y despejando para t_e , se obtiene la ecuación para determinar la temperatura aire-sol.

$$t_e = t_0 + \frac{\alpha I_t}{h_0} - \frac{\varepsilon \delta R}{h_0} \quad (2.38)$$

2.11 Coeficientes del espacio

Ventanas y puertas

Los factores de ganancia de calor solar (SHGF) son las ganancias horarias de calor solar que ocurren en un momento dado y para una orientación específica a través de un pie cuadrado de vidrio de doble resistencia (DSA).

El método de funciones de transferencia (MFT) calcula por separado la ganancia de calor solar transmitida y absorbida, por tanto, este método tiene entonces factores de ganancia de calor solar transmitido (TSHGF) y factores de ganancia de calor solar absorbido (ASHGF).

Las expresiones para el cálculo de ASHGF y TSHGF para ventanas están en función de los coeficientes para vidrio de doble resistencia, mostrados en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Coeficientes para vidrio de doble resistencia.

i	a_j	t_j
0	0.01154	-0.00885
1	0.77674	2.71235
2	-3.94657	-0.52062
3	8.57881	-7.07329
4	-8.38135	9.75995
5	3.01188	-3.89922

(ASHRAE, Cooling and Heating Calculation Manual 1992).

La transmisividad de la radiación solar directa que incide en un ángulo θ se determina mediante la siguiente expresión:

$$\tau_D = \sum_{j=0}^5 t_j [\cos \theta]^j \quad (2.39)$$

Donde:

t_j = Coeficiente de transmisión para el vidrio.

τ_D = Transmitancia del vidrio doble resistencia a la radiación directa.

Mientras que la transmisividad de la radiación difusa se determina con la ecuación:

$$\tau_d = \sum_{j=0}^5 t_j (j+2) \quad (2.40)$$

Donde:

τ_d = Transmitancia del vidrio de doble resistencia a la radiación difusa.

El factor de ganancia de calor solar transmitido es calculado con la expresión:

$$TSHGF = I_D \sum_{j=0}^5 t_j [\cos \theta]^j + 2I_d \sum_{j=0}^5 \frac{t_j}{(j+2)} \quad (2.41)$$

$$TSHGF = I_D \tau_D + 2I_d \tau_d \quad (2.42)$$

La absorptividad de la radiación solar directa incidente a un ángulo θ está determinada por la expresión:

$$\alpha_D = \sum_{j=0}^5 a_j [\cos \theta]^j \quad (2.43)$$

Donde:

a_j = Coeficiente de absorción para el vidrio

α_D = Absortancia del vidrio de doble resistencia a la radiación directa

Mientras que la absorptividad de la radiación solar difusa se determina por la expresión:

$$\alpha_d = 2 \sum_{j=0}^5 \frac{a_j}{(j+2)} \quad (2.44)$$

Donde:

α_d = Absortancia del vidrio doble resistencia a la radiación solar difusa

El factor de ganancia de calor solar absorbido es calculado con la expresión:

$$ASHGF = I_D \sum_{j=0}^5 a_j [\cos \theta]^j + 2I_d \sum_{j=0}^5 \frac{a_j}{(j+2)} \quad (2.45)$$

$$ASHGF = I_D \alpha_D + 2I_d \alpha_d \quad (2.46)$$

La ganancia de calor solar transmitido se calcula por:

$$TSHG = (TSHGF)(SC)(A) \quad (2.47)$$

Donde:

SC = Coeficiente de sombreado

A = Área expuesta

La ganancia de calor solar absorbido está dado por:

$$ASHG = (ASHGF)(SC)(A)(N_i) \quad (2.48)$$

Donde:

N_i = Fracción de la ganancia de calor solar absorbido que se transfiere hacia el interior.

La fracción depende de la magnitud relativa de los coeficientes de transferencia de calor internos y externos. La siguiente expresión es un cálculo aproximado.

$$N_i = \frac{h_i}{h_i + h_o} \quad (2.49)$$

Para las expresiones anteriores se encuentran reportadas en la literatura especializada los coeficientes de sombreado (SC) para condiciones de convección natural en el interior de la ventana y una velocidad de 7.5 millas por hora para la superficie exterior de la ventana. Con estas condiciones se reporta los siguientes valores de $h_i = 1.46 \frac{Btu}{hft^2F}$ y $h_o = 4.0 \frac{Btu}{hft^2F}$, sustituyendo en la ecuación 2.49 se obtiene $N_i = 0.267$. La ganancia de calor solar instantánea es determinada por:

$$SHG = TSHG + ASHG \quad (2.50)$$

Personas

La ganancia de calor debida a las personas que se encuentran en el interior del espacio está dividida en dos componentes:

- Calor sensible

- Calor latente

Las dos componentes anteriores varían de acuerdo al nivel de actividad de las personas, generalmente, se considera que el calor latente de una persona aumenta dependiendo del nivel de actividad.

Existen tablas donde se puede encontrar la ganancia de calor de personas adultas y niños, hombres y mujeres. Las tablas reportan desde una persona sentada en un teatro, hasta un atleta en un gimnasio.

Las siguientes expresiones se emplean para determinar la ganancia de calor debida a personas:

$$q_l = NF_u q'_l \quad (2.51)$$

$$q_s = NF_u q'_s \quad (2.52)$$

Donde:

q_l = Ganancia de calor latente, $\frac{Btu}{h}$

q_s = Ganancia de calor sensible, $\frac{Btu}{h}$

N = Número máximo de personas que se espera que ocupen el espacio

F_u = Factor de uso

q'_l = Ganancia de calor por persona debida a calor latente, reportada en

tablas, $\frac{Btu}{h - Persona}$

q'_s = Ganancia de calor por persona debida a calor sensible, reportada

en tablas, $\frac{Btu}{h - Persona}$

Iluminación

La rapidez de ganancia de calor para un elemento emisor de luz en cualquier momento dado puede ser diferente al potencial suministrado al sistema de iluminación.

El espacio interior de la envolvente tiene como fuente principal de ganancia de calor a los elementos emisores de luz, pero además, cuenta con una contribución significativa de ganancia de calor que es generado por componentes asociados a estos elementos. Para estimar la rapidez de ganancia de calor instantáneas se emplea la siguiente expresión:

$$q = 3.41WF_uF_s \quad (2.53)$$

Donde:

W = Potencial total instalada en watts.

F_u = Factor de uso, relación de watts utilizados a los watts instalados.

F_s = Factor de tolerancia para componentes asociados.

Para lámparas fluorescentes el factor de tolerancia por balastro es del orden de los 2.19.

Se considera que para sistemas fluorescentes la ganancia de calor es de 59% radiante y el 41% convectivo, en tanto que los sistemas incandescentes es el 80% radiantes y el 20% convectivo, en la ganancia de calor.

Equipos

Para determinar la contribución a la ganancia de calor debida a equipos operados por un motor eléctrico la literatura especializada de ASHRAE hace las siguientes clasificaciones:

- Si el equipo y el motor están en el interior del espacio, la ganancia de calor está representada por la siguiente expresión.

$$q_m = 2545 \left(\frac{HP}{E_m} \right) F_l F_u \quad (2.54)$$

- Si el equipo o motor están en el exterior del espacio.

- Equipo en el exterior del espacio.

$$q_m = 2545 (HP) \left[\frac{(1 - E_m)}{E_m} \right] F_l F_u \quad (2.55)$$

- Motor en el exterior del espacio.

$$q_m = 2545 (HP) F_l F_u \quad (2.56)$$

Donde:

q_m = Calor equivalente de operación del equipo, $\frac{Btu}{h}$

HP = Potencia en la flecha del motor

E_m = Eficiencia del motor, es una fracción decimal menor a 1

F_l = Factor de carga del motor

F_u = Factor de uso del motor

Además existen otros equipos que contribuyen a la ganancia de calor como los utilizados en la preparación de alimentos, equipo de

hospitales, laboratorio, equipos de oficina, están reportados en tablas los calores sensibles y latentes en función de las características del equipo.

2.12 Ganancia de calor

La envolvente de una construcción en el transcurso del día recibe energía principalmente proveniente de la radiación solar, la cual, una parte es absorbida por su superficie. Esto incrementa la temperatura de dicha envolvente repercutiendo en el comportamiento del espacio interior. A este fenómeno se conoce como ganancia de calor.

Una definición más formal de la ganancia de calor es la siguiente: Es la energía absorbida por la envolvente de una construcción, así como la de determinadas cargas internas durante el transcurso del día. La energía absorbida es liberada posteriormente al aire interior convirtiéndose así en carga de enfriamiento. Este fenómeno hace necesario el uso de los sistemas de climatización para retirar la energía absorbida por el edificio.

La energía que provoca la ganancia de calor proviene de:

- 🌞 Radiación solar a través de los muros, techos, puertas, tragaluces y vidrios. La radiación solar puede ser directa o difusa.

- La radiación directa es el tipo de radiación que incide sobre la envolvente de una construcción, una vez atravesó la atmósfera y alcanzó la superficie terrestre.
- La radiación difusa es el tipo de radiación que irradia la atmósfera al haber sido absorbida a su paso a través de ella y que incide sobre la envolvente de la construcción.
- Iluminación.
- Personas.
- Equipos (electrodomésticos, comerciales e industriales).
- infiltración.

Para hacer una evaluación técnico en una vivienda es necesario conocer el comportamiento térmico de la misma, esto se logra calculando las ganancias instantáneas de calor con el Método de Funciones de Transferencia (MFT). El MFT describe el comportamiento térmico dentro de un muro, techo, separación, azotea o piso, conociendo valores previos de comportamiento térmico y valores anteriores de temperatura dentro y fuera de la envolvente de una construcción. Por ello es fundamental conocer perfectamente las dimensiones y materiales de construcción de muros, techos, separaciones, azoteas o pisos. ASHRAE (1992) cuenta con bases de datos y/o tablas de propiedades reportadas para los materiales más comúnmente utilizados.

El MFT además hace un arreglo combinando coeficientes convectivos y coeficientes radiantes para superficies en el interior y en el exterior. Por lo tanto, los coeficientes de funciones de transferencia conductivos son manejados para la temperatura aire-sol en el exterior y para la temperatura de pared en el interior. Estos coeficientes de funciones de transferencia conductivos se usan en el cálculo de la ganancia de calor dentro y fuera del envolvente de la construcción. ASHRAE cuenta con métodos y programas de cómputo que calculan estos coeficientes y/o tablas de coeficientes de los materiales de construcción más comunes. Las Tablas 2.6 y 2.7 muestran los coeficientes de funciones de transferencia conductivos para muros y techos.

Tabla 2.6 Coeficientes de funciones de transferencia conductivos de muro.

COEFICIENTES DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA CONDUCCIÓN		
Muro: Tipo 3	Resistencia térmica: 1.603	
<i>n</i>	<i>bn</i>	<i>dn</i>
0	4.106600E-03	1.000000E+00
1	3.230460E-02	-7.696300E-01
2	1.474380E-02	4.014260E-02
3	4.655040E-04	-4.197010E-04
4	2.893710E-07	2.728380E-10
5	6.227410E-14	-1.299670E-22
6	-4.362310E-16	2.066470E-37
<i>cn</i>	5.162080E-02	
<i>Ua</i>	<i>Uw</i>	
0.623830318	1.911220E-01	

Tabla 2.7 Coeficientes de funciones de transferencia conductivos de techo.

COEFICIENTES DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA CONDUCCIÓN		
Muro: Tipo 3	Resistencia térmica: 5.0492	
<i>n</i>	<i>bn</i>	<i>dn</i>
0	6.134400E-03	1.000000E+00
1	3.982870E-02	-7.561450E-01
2	1.375390E-02	1.438670E-02
3	2.485070E-04	-6.000280E-05
4	9.088660E-08	7.145660E-11
5	2.525690E-14	-7.372240E-22
6	-3.949790E-16	0.000000E+00
<i>cn</i>	5.996560E-02	
<i>Ua</i>	<i>Uw</i>	
0.198049007	2.322610E-01	

La ecuación utilizada para el cálculo de ganancia de calor por el MFT es:

$$q_{e,\theta} = A \left[\sum_{n=0} b_n (t_{e,\theta-n\delta}) - \sum_{n=1} d_n \left\{ \frac{(q_{e,\theta-n\delta})}{A} \right\} - t_{rc} \sum_{n=0} c_n \right] \quad (2.57)$$

Donde:

$q_{e,\theta-n\delta}$ = Ganancia de calor de muro, techo, separación, etc., $\frac{Btu}{h}$ en un

tiempo $\theta - n\delta$

A = Área de muro o techo, ft^2

θ = Tiempo, h

δ = Intervalo de tiempo, h

n = Índice de la sumatoria (hasta el último coeficiente $\neq 0$)

$t_{e,\theta-n\delta}$ = Temperatura aire-sol en el tiempo $\theta - n\delta$, $^{\circ}F$

t_{rc} = Temperatura interior constante, $^{\circ}F$

$b_n c_n d_n$ = Coeficientes de Funciones de Transferencia por Conducción.

La ecuación se puede resolver usando un método iterativo debido a que es implícita en la variable dependiente $q_{e,\theta-n\delta}$. Se debe asignar un valor inicial para $q_{e,\theta-n\delta}$ y se itera hasta que se logra la convergencia para un periodo de 24 horas. El resultado de $q_{e,\theta-n\delta}$ de la convergencia es la ganancia de calor instantánea de muro o techo para cada hora del día.

2.13 Ganancia de calor por infiltración

En la sección 2.12 se definieron los factores que provocan la ganancia de calor total de la envolvente de una construcción entre ellos están las debidas a la infiltración y la ventilación llamada por la bibliografía especializada como ganancia de calor por infiltración y ventilación. Esta es una de las ganancias más difíciles de cuantificar a la hora de realizar la simulación térmica debido a que esta es muy subjetiva ya que no es posible estimar la cantidad exacta de aire infiltrado a la envolvente de una construcción. A continuación se muestran las ecuaciones que se utilizan en el cálculo de la ganancia de calor por infiltración, la razón de que sean dos ecuaciones es que la infiltración aporta tanto calor latente como calor sensible.

$$q_l = 4840(\omega_e - \omega_i)cfm \quad (2.58)$$

Donde:

q_l = Calor latente debido a la infiltración $\frac{Btu}{h}$.

ω_e = Humedad específica exterior de la envolvente de una construcción $\frac{lb_v}{lb_a}$.

ω_i = Humedad específica interior de la envolvente de una construcción $\frac{lb_v}{lb_a}$.

cfm = Flujo volumétrico de aire que entra a la envolvente de la construcción $\frac{ft^3}{min}$.

$$q_s = 1.1(T_e - T_i)cfm$$

(2.59)

Donde:

q_l = Calor latente debido a la infiltración $\frac{Btu}{h}$.

T_e = Temperatura exterior de la envolvente de una construcción $^{\circ}F$.

T_i = Temperatura interior de la envolvente de una construcción $^{\circ}F$.

cfm = Flujo volumétrico de aire que entra a la envolvente de la construcción $\frac{ft^3}{min}$.

El flujo de aire es debido a la diferencia de presiones existente entre el exterior y el interior de la envolvente de una construcción, todo esto motivado por la velocidad del aire en el exterior y además por la

diferencia de densidades que hay entre el aire interior y exterior de la envolvente de una construcción.

2.14 Carga de enfriamiento

En las secciones 2.12 y 2.13 se definió la ganancia de calor de la envolvente, como la energía de la radiación solar que es absorbida por dicha envolvente, además a esa energía se le incluye la aportación del alumbrado, personas y equipos que se encuentran dentro de la envolvente. Esta energía se libera al aire de la envolvente convirtiéndose en lo que se denomina carga o potencia de enfriamiento. La ganancia de calor se encuentra desfasada en el tiempo con respecto a la carga de enfriamiento debido a la inercia térmica de la envolvente. Los sistemas de climatización retiran la carga de enfriamiento y no la ganancia de calor.

La potencia de enfriamiento (o carga de enfriamiento) Q_θ se define como la cantidad neta de energía que se tiene que retirar del aire del espacio interior de una construcción para mantener una temperatura constante se calcula por medio de la ecuación

$$Q_\theta = v_0 q_\theta + v_1 q_{\theta-\delta} + v_2 q_{\theta-2\delta} - w_1 Q_{\theta-\delta} - w_2 Q_{\theta-2\delta} \quad (2.60)$$

Donde:

Q_θ = Carga de enfriamiento para la hora θ del día.

δ = Intervalo de tiempo. (Usualmente se utiliza 1 hora)

q_θ = Ganancia de calor en la hora θ .

v_0, v_1, v_2, w_1, w_2 Son los coeficientes de ponderación de zona.

Esta ecuación tiene un coeficiente para cada una de las características: conducción, solar, iluminación y personas. La Tabla 2.8 muestra un ejemplo de los valores utilizados en la evaluación técnica para una construcción.

Tabla 2.8 Coeficientes de ponderación de zona.

	CONDUCCIÓN	SOLAR	ILUMINACIÓN	PERSONAL
v_0	0.746378	0.427892	0.7625	0.743639
v_1	-0.855214	-0.426402	-0.8307	-0.805102
v_2	0.177946	0.0722102	0.15957	0.152833
w_1	-1.24007	-1.1926	-1.15317	-1.15317
w_2	0.30918	0.2663	0.24454	0.24454

La ecuación 2.60 se resuelve por un método iterativo para cada coeficiente de ponderación de zona, dando como resultado la carga de enfriamiento de cada hora del día.

2.15 Retiro de calor

El retiro de calor es la rapidez con la que el sistema de climatización extrae la energía, en forma de calor, a la envolvente de una construcción. El sistema de climatización es el que define el perfil de temperatura y humedad del espacio interior de la envolvente ya que estas condiciones dependen de las características propias de dicho sistema.

La rapidez de retiro de calor depende de la capacidad del sistema de climatización, esto es, si la carga de enfriamiento es mayor que la capacidad del sistema de climatización, dicho sistema extrae sólo el valor equivalente a su capacidad y el resto permanece inalterado como energía interna del aire interior.

La rapidez de retiro de calor se representa por la siguiente ecuación lineal:

$$ER_{\theta} = W_{\theta} + (St_{r\theta}) \quad (2.61)$$

Donde:

ER_{θ} = Rapidez de extracción de calor en el tiempo θ

$t_{r\theta}$ = Temperatura del aire interior de la envolvente en el tiempo θ

W, S = Parámetros característicos de desempeño del sistema de climatización

$$S = \frac{ER_{\max} - ER_{\min}}{\Delta t_{tr}} \quad (2.62)$$

Donde:

$ER_{\max}$ = Capacidad máxima de extracción de calor en el intervalo de control

$ER_{\min}$ = Capacidad mínimo de extracción de calor en el intervalo de control

Δt_{tr} = Intervalo de control de temperatura del sistema de climatización

$$W_{\theta} = \frac{(ER_{\max} - ER_{\min})}{2} - St_{r\theta}^* \quad (2.63)$$

$St_{r\theta}^*$ = Temperatura de control del termostato en el tiempo θ

La rapidez de extracción de calor se determina empleando los coeficientes de las funciones de transferencia del aire de la envolvente de la siguiente forma:

$$\sum_{i=0}^1 p_i (ER_{\theta-i\delta} - Q_{\theta-i\delta}) = \sum_{i=0}^2 g_i (t_{rc} - t_{r\theta-i\delta}) \quad (2.64)$$

Donde:

g_i y p_i = Coeficientes de función de transferencia del aire de la envolvente

Q = Carga de enfriamiento calculada para la envolvente en el tiempo θ considerando que la temperatura de la envolvente es constante para t_{rc} .

Tabla 2.9 Coeficientes normalizados de función de transferencia del aire de la envolvente.

CONSTRUCCIÓN DE LA ENVOLVENTE	g_0 $\frac{Btu}{hft^2F}$	g_1 $\frac{Btu}{hft^2F}$	g_2 $\frac{Btu}{hft^2F}$	p_0 Adimensional	p_1 Adimensional
Ligera	1.68	-1.73	0.05	1	-0.82
Mediana	1.61	-1.81	0.08	1	-0.87
Pesada	1.85	-1.95	0.1	1	-0.93

(ASHRAE, Cooling and Heating Calculation Manual 1992)

Construcción ligera: Son muros de materiales ligeros, pisos de concreto de 2 pulgadas, aproximadamente 30 libras de material por pie cuadrado de área de piso.

Construcción mediana: Son muros de 4 pulgadas, pisos de concreto de 4 pulgadas, aproximadamente 70 libras de material de construcción por pie cuadrado de área de piso.

Construcción pesada: Son muros de 6 pulgadas, pisos de concreto de 6 pulgadas, aproximadamente 130 libras de material de construcción por pie cuadrado de área de piso.

Los coeficientes de función de transferencia del espacio interior se desnormalizan con las siguientes expresiones.

$$g_{0,\theta} = g_{0}^*A + p_0[UA + 1.1(V_{\theta} + VI_{\theta})] \quad (2.65)$$

$$g_{1,\theta} = g_{1}^*A + p_1[UA + 1.1(V_{\theta-\delta} + VI_{\theta-\delta})] \quad (2.66)$$

$$g_{2,\theta} = g_{2}^*A \quad (2.67)$$

Donde:

A = Área del piso de la envolvente, ft^2

U = Coeficientes globales de transferencia de calor de la envolvente,

$$\frac{Btu}{hft^2 \circ F}$$

V = Ventilación introducida a la envolvente, cfm , $\frac{ft^3}{min}$

VI = Velocidad de la infiltración, cfm , $\frac{ft^3}{min}$

θ = Tiempo, h

$\theta - \delta$ = Horas previas

Resolviendo simultáneamente la ecuación 2.61 y ecuación 2.64 se obtienen las siguientes ecuaciones para calcular la rapidez de intercambio de calor.

$$ER_{\theta} = \frac{W_{\theta}g_0 + I_{\theta}S}{S + g_0} \quad (2.68)$$

Donde:

$$I_{\theta} = t_{rc} \sum_{i=0}^2 g_{i,\theta} - \sum_{i=1}^2 g_{i,\theta} t_{r\theta-i\delta} + \sum_{i=0}^1 p_i Q_{r\theta-i\delta} - \sum_{i=1}^1 p_i ER_{\theta-i\delta} \quad (2.69)$$

La temperatura del aire interior de la envolvente en el tiempo θ se puede calcular mediante la siguiente expresión.

$$t_{r\theta} = \frac{I_{\theta} - ER_{\theta}}{g_{0,\theta}} \quad (2.70)$$

Para calcular la rapidez de extracción de calor se utiliza la ecuación 2.68, la cual requiere de conocer valores previos de ER_{θ} y $t_{r\theta}$, estos valores pueden suponer para iniciar el método iterativo de resolución.

2.16 Consumo, demanda y facturación eléctrica

Para realizar la evaluación técnica de una vivienda en Mexicali se tienen que elegir los días que representen el verano en la ciudad. Puesto que la metodología aplicada sólo reporta parámetros solares para los días 21 de cada mes del año como se muestra en la Tabla 2.10. Los días que mejor representan el clima en una ciudad se

conocen como días base, ver la Tabla 2.11, por ejemplo, los parámetros solares del día 21 de julio describen el comportamiento del clima del día 07 de julio al 04 de agosto.

Tabla 2.10 Parámetros solares

Ecuación DE TIEMPO DECLINACIÓN A B C					
Mes	min	grado:	$\frac{Btu}{hft^2}$	Adimensional	Adimensional
Enero	-11.2	-20	381.2	0.141	0.103
Febrero	-13.9	-10.8	376.4	0.142	0.104
Marzo	-7.5	0	369.1	0.149	0.109
Abril	1.1	11.6	358.3	0.164	0.12
Mayo	3.3	20	350.7	0.177	0.13
Junio	-1.4	23.45	346.3	0.185	0.137
Julio	-6.2	20.6	346.6	0.186	0.138
Agosto	-2.4	12.3	351	0.182	0.134
Septiembre	7.5	0	360.2	0.165	0.121
Octubre	15.4	-10.5	369.7	0.152	0.111
Noviembre	13.8	-19.8	377.3	0.142	0.106
Diciembre	1.6	-23.45	381.8	0.141	0.103

(ASHRAE, Cooling and Heating Calculation Manual 1992)

Tabla 2.11 Los días base para Mexicali son los siguientes

JUNIO	AGOSTO
1	1
4	4
7	7
10	10
14	14
17	17
21	21
24	24
28	28
30	31

Teniendo caracterizado el clima de verano, se determina la carga de enfriamiento y el retiro de calor para los días base correlacionándose estos con las horas-grado de cada día base. El ajuste a una línea recta es el que mejor correlaciona la carga de enfriamiento y el retiro de calor en función de las horas-grado como lo muestra la Figura 2.5, esta correlación se usa para determinar la carga de enfriamiento y retiro de calor para todo el verano con respecto a las horas-grado.

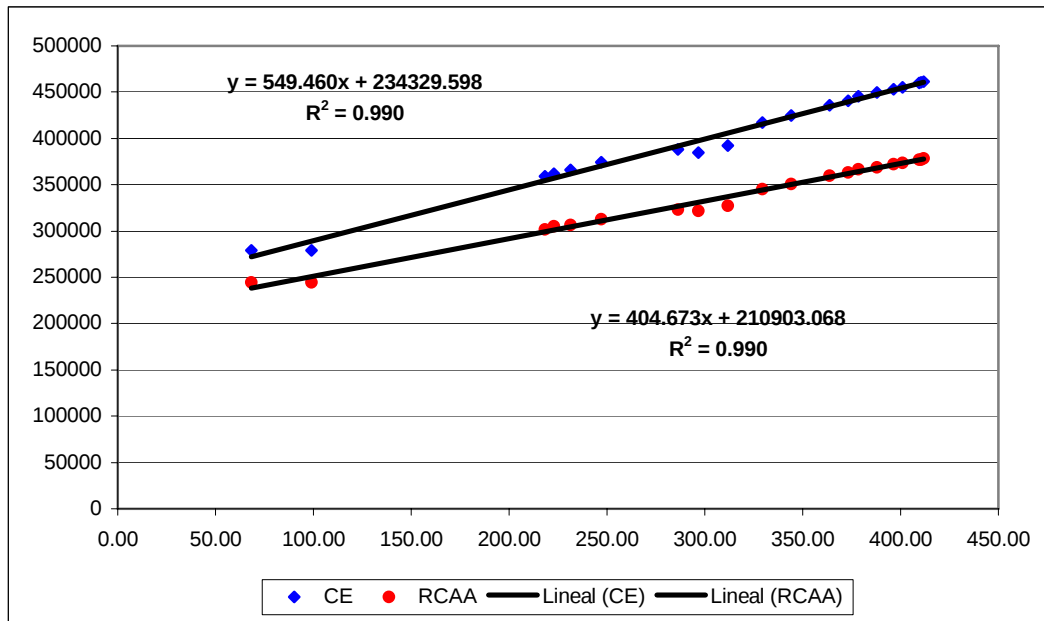
$$Y_i = a_{0i} + a_{1i}HG \quad (2.71)$$

Donde:

Y_i = Variable independiente (consumo o demanda)

a_{0i}, a_{1i} = Coeficientes de ajuste (consumo o demanda)

HG = Horas-grado



Figur

a 2.5 Correlación de HG vs carga de enfriamiento y retiro de calor.

Habiendo correlacionado la carga de enfriamiento y la rapidez de retiro de calor para los días de verano se calcula el consumo mensual mediante la siguiente ecuación:

$$Consumo = \left(\frac{12}{SEER} \right) ER_{\theta} + CF \quad (2.72)$$

Donde:

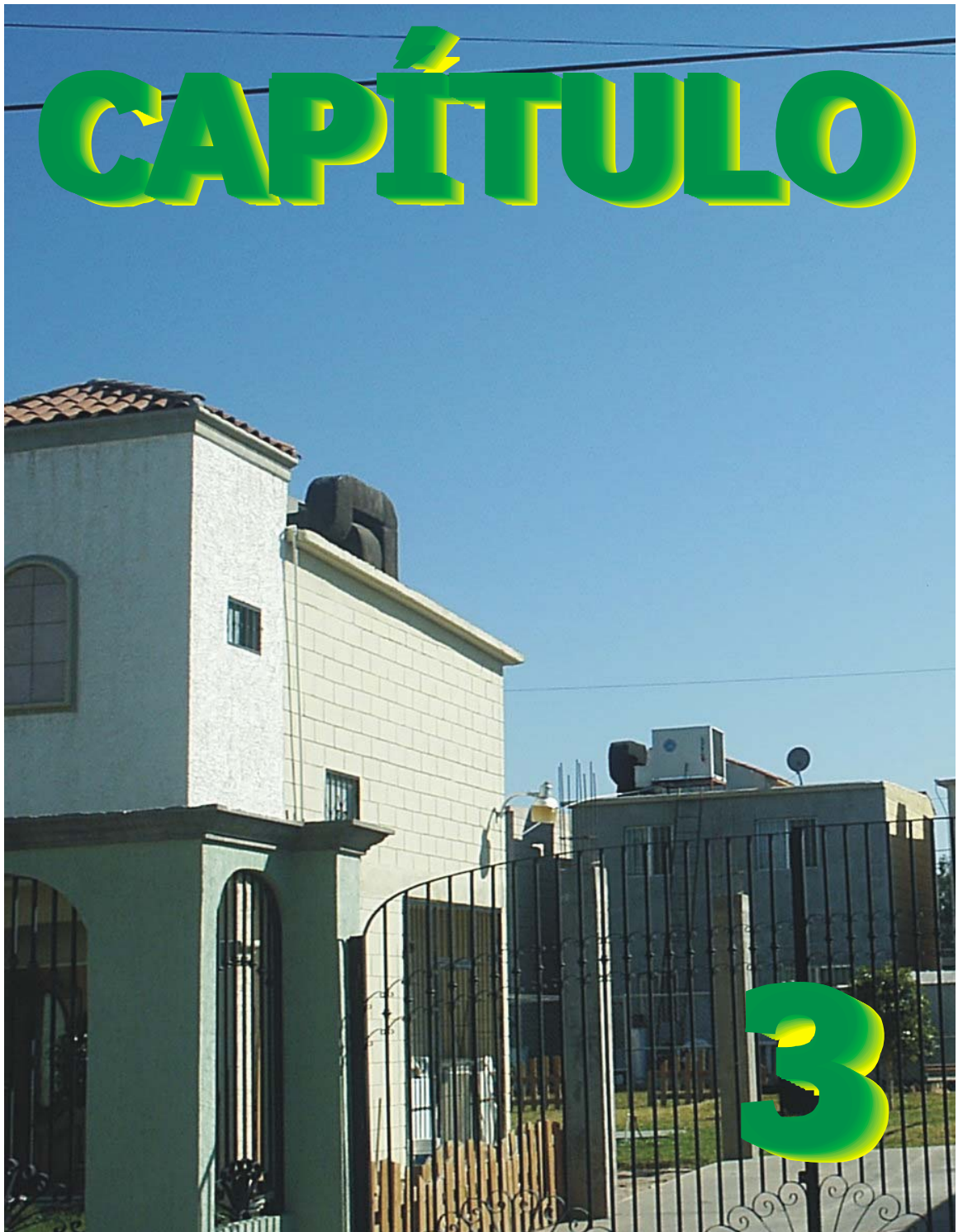
$Consumo$ = Consumo eléctrico, kWh

ER_{θ} = Retiro de calor, ton

$SEER$ = Rendimiento estacional energético del equipo de climatización

CF = Consumo fijo, kWh

Y por último se aplica la tarifa eléctrica de la región para calcular la facturación.



3. SIMULACIÓN

3.1 Secuencia de simulación

La Figura 3.1 muestra la secuencia de simulación para la evaluación técnica de la envolvente de una construcción. La secuencia de simulación es una adaptación del método de funciones de transferencia utilizando el concepto de horas-grado para la región de Mexicali, B. C.

El diagrama general de flujo computacional para el simulador térmico fue elaborado basándose en esta secuencia de simulación, sólo que el diagrama general de flujo computacional se divide en otros subdiagramas de flujo llamados módulos que pueden usarse en cualquier parte del código. Con esto se logra que la escritura de código sea más compacta y más eficiente la simulación.

Los módulos están ligados unos a otros por lo que se debe tener cuidado cuando se quiere utilizar uno de ellos, si no se respetan esas ligas el compilador de Visual Basic 6 despliega un aviso de error en dicha compilación.

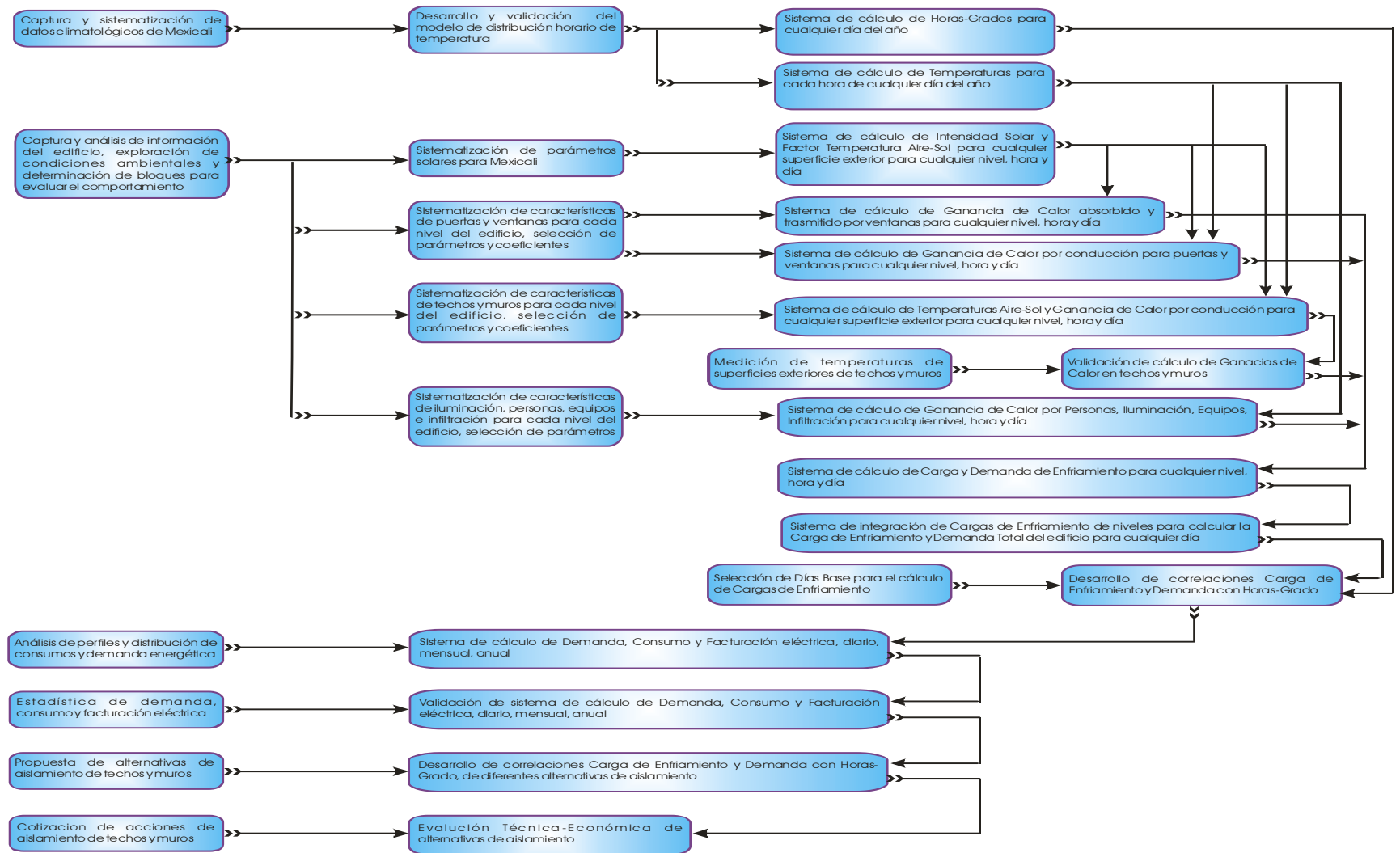


Figura 3.1: Diagrama de secuencia de simulación (Pérez, 1996).

Es importante mencionar que para la evaluación técnica en la construcción no es necesario aplicar los puntos de validación de la metodología que aparecen en la secuencia de simulación de la Figura 3.1 debido a que su validación ya fue realizada. La Figura 3.2 muestra los puntos en color amarillo que se aplican en la evaluación técnica de la envolvente de una construcción. Siendo consistente con lo mencionado anteriormente, el diagrama general de flujo computacional no incluye la etapa de validación de la metodología.

La metodología de simulación ha sido validada a través del trabajo desarrollado por el Área de Sistemas Energéticos del Instituto de Ingeniería de la UABC y probando su aplicación a diferentes casos del sector público, industrial y doméstico. Entre otros casos se encuentran:

- Grupo Melo (Campbell, 2005)
- Armour (Campbell; y colaboradores, 2004)
- Proyecto de normas de construcción (Pérez y colaboradores, 2003)
- CFE (Pérez y colaboradores, 1996)
- TELNOR (Campbell; y Pérez, 1995)

En el Apéndice B se muestra los resultados obtenidos del simulador térmico en Visual Basic 6 y el simulador en Excel de una vivienda en Mexicali B. C. y los resultados se discutirán en el Capítulo 4, lo

importante de mencionar de estas dos simulaciones realizadas es para validar los resultados con el simulador en Visual Basic 6 al compararlos con aquellos previamente conocidos y válidos al provenir de la simulación cuya confiabilidad ha sido establecida.

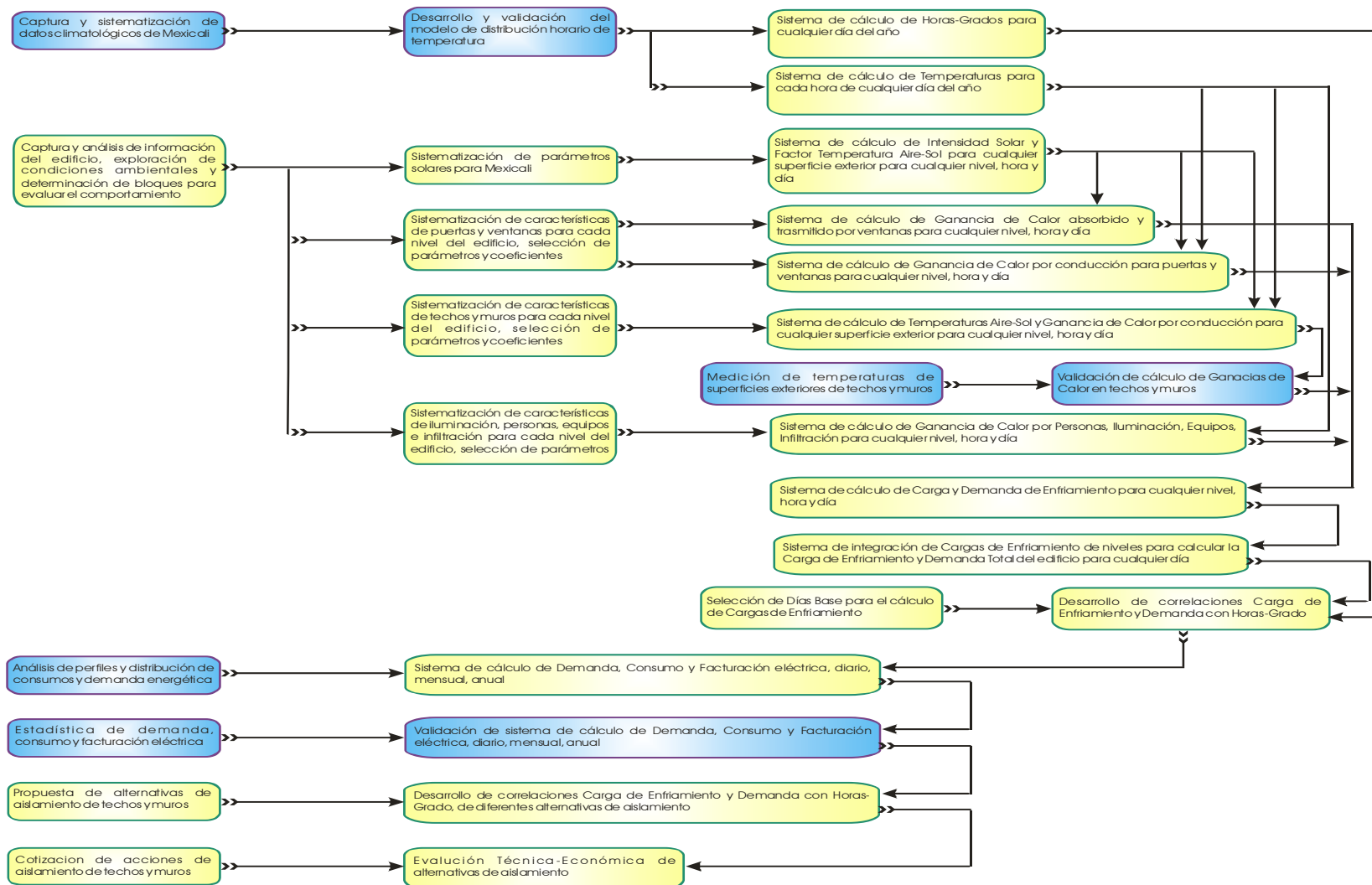


Figura 3.2: Diagrama de secuencia de simulación de una evaluación técnica de una casa habitación (Pérez, 1996)

3.2 Simulador térmico

El simulador térmico fue realizado en lenguaje Basic y en un ambiente gráfico con el paquete Visual Basic 6, que permite dar un ambiente amigable al simulador, así como tener una amplia gama de funciones matemáticas que se utilizan en la programación del diagrama general de flujo computacional y los diferentes subdiagramas de flujo computacional (módulos), también presenta una gran facilidad para crear funciones nuevas, como se muestra en la Figura 3.3.

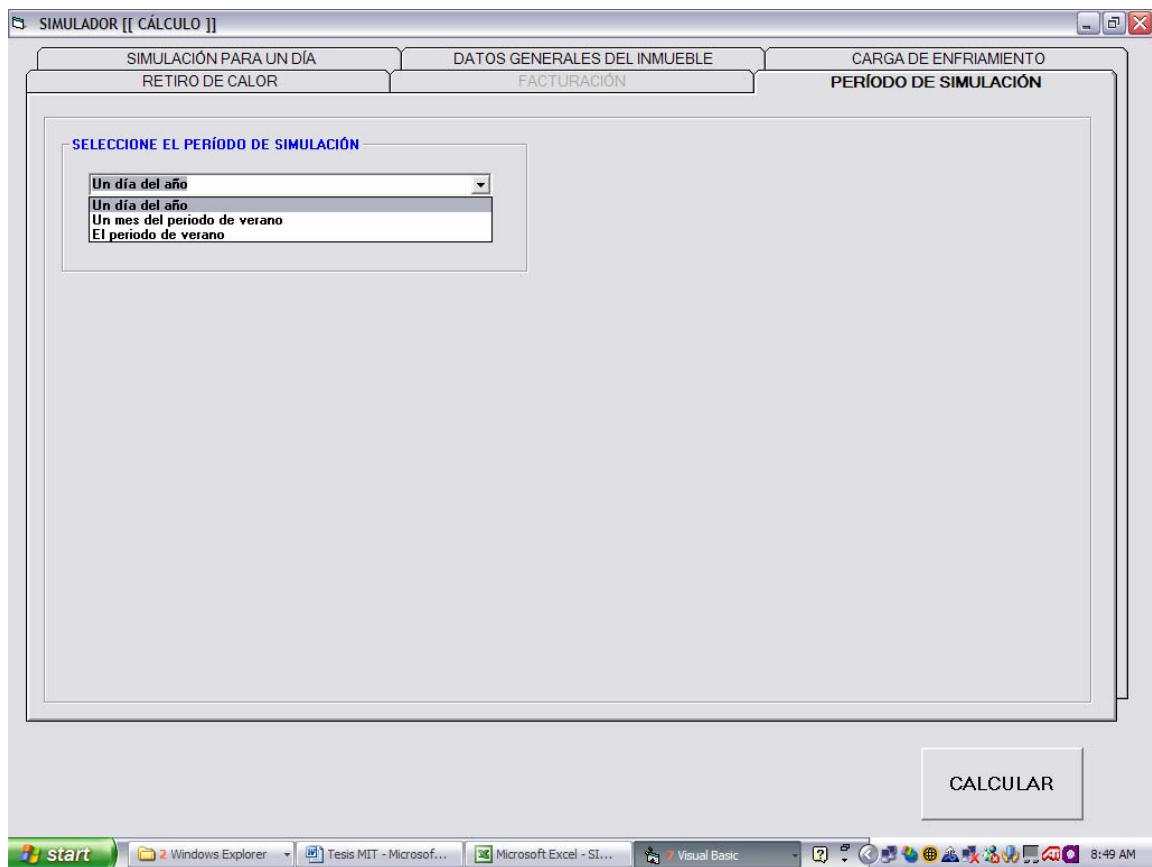


Figura 3.3: Pantalla principal del simulador térmico

El simulador está dividido en tres etapas:

- Captura de información de la construcción
- Cálculo por módulos
- Despliegue de resultados

Se decidió hacerlo de esta forma para facilitar su manejo y tener una codificación estructurada para Visual Basic 6, logrando una compilación del código depurada y fácil de detectar errores de programación.

Captura de información

Esta etapa de la simulación consiste en ingresar todos los datos generales de la construcción al simulador térmico, a continuación se presentan desglosados los datos que se ingresan y su respectiva imagen de la pantalla del simulador:

- Periodo de simulación.
 - Un día del año.
 - ✚ Ciudad
 - ✚ Mes
 - ✚ Día

SIMULADOR [[CÁLCULO]]

RETIRO DE CALOR FACTURACIÓN PERÍODO DE SIMULACIÓN

SIMULACIÓN PARA UN DÍA DATOS GENERALES DEL INMUEBLE CARGA DE ENFRIAMIENTO

DATOS

CIUDAD
 Mexicali, BC, México

MES
 Enero

DÍA
 1

DATOS GEOGRÁFICOS

CIUDAD: Mexicali, BC, México

LATITUD (°): 32.667

LONGITUD (°): -115.483

LST (°): 120

CONSTANTES DE LA ECUACIÓN DE FOURIER

<m>: 0.53412

A: 0.31367

B: 0.31056

DATOS DE TEMPERATURAS

MES: Enero

DÍA: Enero 1

TEMPERATURA MÁXIMA (°F): 65.3

TEMPERATURA MÍNIMA (°F): 45.86

DATOS SOLARES

ECUACIÓN DE TIEMPO (min): -11.2

DECLINACIÓN (°): -20

A (Btu / h ft²): 381.2

B: 0.141

C: 0.103

CALCULAR

Figura 3.4: Pantalla para la simulación térmica de un día del año

➤ Un mes del periodo de verano.

✚ Ciudad

The screenshot shows a software window titled "SIMULADOR [[CÁLCULO]]". It has three tabs: "SIMULACIÓN PARA UN DÍA", "DATOS GENERALES DEL INMUEBLE", and "CARGA DE ENFRIAMIENTO". The "SIMULACIÓN PARA UN DÍA" tab is active, showing sub-tabs "RETIRO DE CALOR" and "FACTURACIÓN". The "PERÍODO DE SIMULACIÓN" section contains a dropdown menu labeled "SELECCIONE EL PERÍODO DE SIMULACIÓN" with the selected option "Un mes del periodo de verano". Below this, the "UN MES DEL PERÍODO DE VERANO" section features a dropdown menu with the selected option "Mayo" and a list of other months: Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, and Octubre. A "CALCULAR" button is located at the bottom right of the window. The Windows taskbar at the bottom shows the Start button and several open applications: Windows Explorer, Tesis MIT - Microsof..., Microsoft Excel - SI..., and Visual Basic. The system clock indicates 8:48 AM.

Figura 3.5: Pantalla para la simulación térmica de un mes del periodo de verano

➤ Todo el periodo de verano (Mayo a Octubre).

✚ Ciudad.

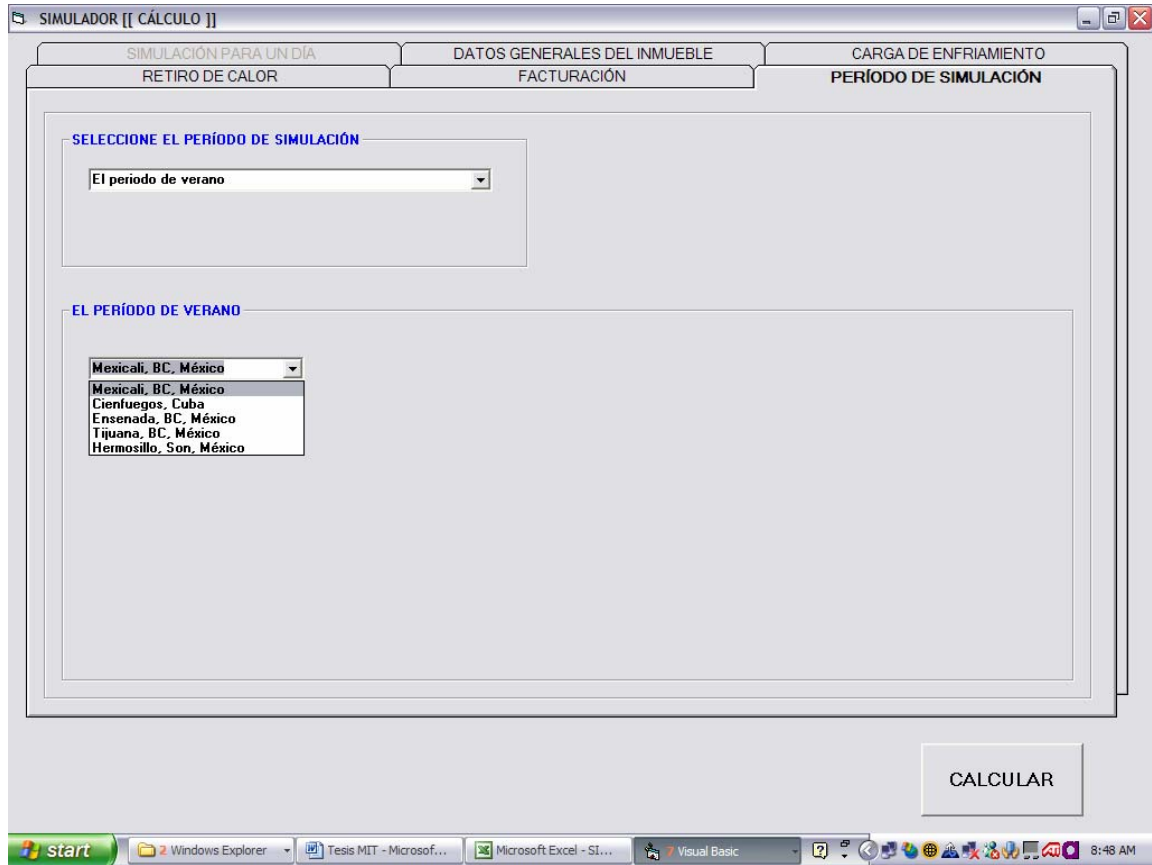


Figura 3.6: Pantalla para la simulación térmica del periodo de verano

• Dimensiones y propiedades de la envolvente.

The screenshot displays a software application window titled "SIMULADOR [[CÁLCULO]]". It features three main tabs at the top: "RETIRO DE CALOR" (with a sub-tab "SIMULACIÓN PARA UN DÍA"), "FACTURACIÓN", and "PERÍODO DE SIMULACIÓN" (with a sub-tab "CARGA DE ENFRIAMIENTO"). The "DATOS GENERALES DEL INMUEBLE" tab is currently selected. Within this tab, there are two primary sections: "DATOS" on the left, which includes a "NÚMERO DE PISOS" dropdown menu set to "5", and "CAPTURA DE INFORMACIÓN" on the right. The "CAPTURA DE INFORMACIÓN" section is further divided into sub-tabs for "PISO 1", "PISO 2", "PISO 3", "PISO 4", and "PISO 5". The "PISO 1" sub-tab is active, showing four input boxes labeled "MUROS", "EQUIPOS", "VENTANAS Y PUERTAS", and "PERSONAS". A "CALCULAR" button is located at the bottom right of the application window. The Windows taskbar at the bottom shows the "start" button and several open applications: "Windows Explorer", "Tesis MIT - Microsof...", "Microsoft Excel - SI...", and "Visual Basic". The system clock indicates the time is 8:47 AM.

Figura 3.7: Pantalla de datos generales del inmueble

➤ Muros.

- ✦ Tipo de muro.
- ✦ Área de muro: Norte, Sur, Este y Oeste.
- ✦ Resistencia térmica.
- ✦ Temperatura de piso.
- ✦ Área de planta.

The screenshot shows a software window titled "SIMULADOR [[PISO 1: MUROS]]" with a standard Windows XP interface. The window contains several tabs: "OESTE", "NORTE", "CTC DE MURO", "SUR", "PROPIEDADES DEL MURO", and "ESTE". The "DATOS" tab is active, displaying a form for "PISO 1". The form includes the following fields and controls:

- TIPO DE MURO:** A dropdown menu with "1" selected.
- ÁREA DE MURO:** A text box containing "0" followed by "ft²".
- RESISTENCIA TÉRMICA:** A text box containing "0" followed by "°F ft² h/Btu".
- TEMPERATURA DEL PISO:** A text box containing "0" followed by "°F".
- ÁREA DE PLANTA:** A text box containing "0" followed by "ft²".
- ACEPTAR:** A button at the bottom of the form.
- DESCRIPCIÓN DE MURO:** A large text area on the right containing "TIPO 1".

The Windows taskbar at the bottom shows the "start" button and several open applications: "Windows Explorer", "Tesis MIT - Microsof...", "Microsoft Excel - SI...", and "Visual Basic". The system clock indicates "8:46 AM".

Figura 3.8: Pantalla de datos generales de los muros

➤ Techos.

- ✚ Tipo de techo.
- ✚ Área de techo.
- ✚ Resistencia térmica.

TECHO

CTC DE TECHO

PROPIEDADES DEL TECHO

DATOS

TECHO

TIPO DE TECHO

1

ÁREA DE TECHO

0 ft²

RESISTENCIA TÉRMICA

0 °F ft² h/Btu

ACEPTAR

DESCRIPCIÓN DE TECHO

TIPO 1

Figura 3.9: Pantalla de datos generales del techo

➤ Puertas y ventanas.

- ✚ Tipo de ventana: Norte, Sur, Este y Oeste.
- ✚ Área de ventana: Norte, Sur, Este y Oeste.
- ✚ Tipo de Puerta: Norte, Sur, Este y Oeste.
- ✚ Área de Puerta: Norte, Sur, Este y Oeste.

The screenshot shows a software window titled "SIMULADOR [[PISO 1: VENTANAS Y PUERTAS]]" with standard Windows window controls. The main area contains a form for entering data for "PISO 1". At the top, there are two tabs: "ESTE NORTE" (selected) and "OESTE SUR". Below the tabs, there are two main sections: "VENTANAS" (Windows) and "PUERTAS" (Doors). Each section has a "TIPO" (Type) dropdown menu currently set to "Ninguna" (None), an "ÁREA TOTAL" (Total Area) field with a unit of "ft²", and a large text area labeled "NINGUNA:". At the bottom of the form, there is a label "PISO 1" and an "ACEPTAR" (Accept) button. The Windows taskbar at the bottom shows the Start button and several open applications: Windows Explorer, Tesis MIT - Microsof..., Microsoft Excel - SI..., and Visual Basic. The system clock in the bottom right corner shows "8:51 AM".

Figura 3.10: Pantalla de datos generales de los muros

● Personas.

- Nivel de actividad de las personas.
- Personas por hora.

SIMULADOR [[PISO 1: PERSONAS]]

PERSONAS

PISO 1

NIVEL DE ACTIVIDAD DE LAS PERSONAS

Trabajo ligero de oficina

Trabajo ligero de oficina
Trabajo ligero en fábrica
Trabajo pesado en fábrica
Restaurant
Teatro
Gimnasio

CALOR

Calor latente: 200 Btu/h

Calor sensible: 250 Btu/h

ACEPTAR

PERSONAS POR HORA

HORA	No. PERSONAS	HORA	No. PERSONAS
1	0	13	0
2	0	14	0
3	0	15	0
4	0	16	0
5	0	17	0
6	0	18	0
7	0	19	0
8	0	20	0
9	0	21	0
10	0	22	0
11	0	23	0
12	0	24	0

Figura 3.11: Pantalla de datos generales de las personas

Equipos.

- Tipo de equipo.
- Factor de uso.
- Cantidad de equipo por hora.

SIMULADOR [[PISO 1: EQUIPOS]]

VENTILADOR EQUIPO 1 | REFRIGERADOR EQUIPO 2 | TELEVISIÓN EQUIPO 3 | RADIO EQUIPO 4 | PLANCHA EQUIPO 5

LAVADORA | MICRO-ONDAS | CAFETERA | ESTUFA | ILUMINACION

DATOS

CALOR

Calor latente: 0 Btu/h

Calor sensible: 341 Btu/h

FACTOR DE USO

1

EQUIPO POR HORA

HORA	No. EQUIPO	HORA	No. EQUIPO
1		13	
2		14	
3		15	
4		16	
5		17	
6		18	
7		19	
8		20	
9		21	
10		22	
11		23	
12		24	

PISO 1 **ACEPTAR**

Figura 3.12: Pantalla de datos generales de los equipos

🌀 Datos de carga de enfriamiento por piso.

➤ Piso planta baja.

➤ Piso intermedio.

➤ Piso superior.

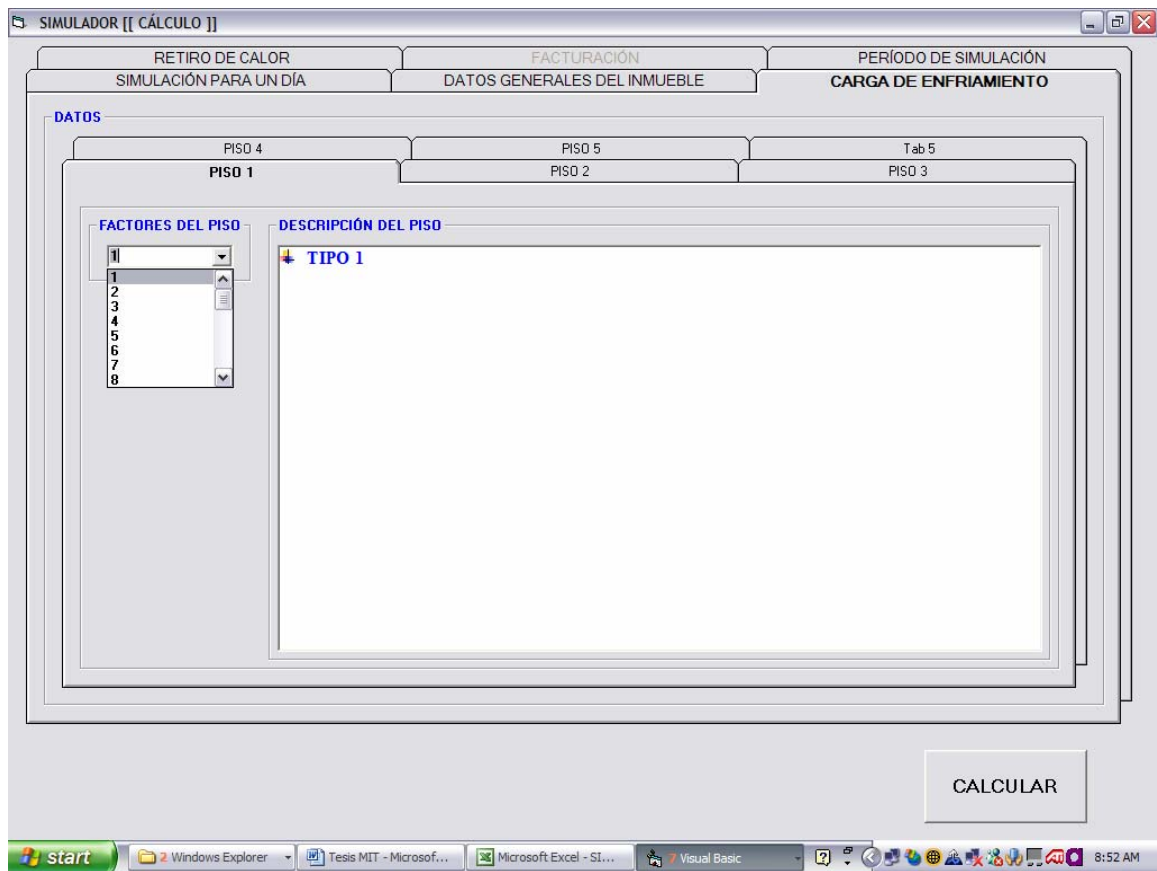


Figura 3.13: Pantalla de datos generales para la carga de enfriamiento

• Datos de retiro de calor por piso.

- Rapidez máxima de extracción de calor.
- Rapidez mínima de extracción de calor.
- Variación del punto de control de temperaturas.
- Rapidez de flujo de aire de ventilación.
- Rapidez de flujo de aire de infiltración.
- Tipo de construcción.
 - ✚ Ligera.
 - ✚ Mediana.
 - ✚ Pesada.

SIMULADOR [CÁLCULO]

SIMULACIÓN PARA UN DÍA **DATOS GENERALES DEL INMUEBLE** **CARGA DE ENFRIAMIENTO**

RETIRO DE CALOR **FACTURACIÓN** **PERÍODO DE SIMULACIÓN**

DATOS

PISO 4 **PISO 5** **Tab 5**

PISO 1 **PISO 2** **PISO 3**

DATOS

RAPIDEZ MÁXIMA DE EXTRACCIÓN DE CALOR 0

RAPIDEZ MÍNIMA DE EXTRACCIÓN DE CALOR 0

VARIACIÓN DEL SET POINT 0

RAPIDEZ DE FLUJO DE AIRE DE VENTILACIÓN 0

RAPIDEZ DE FLUJO DE AIRE DE INFILTRACIÓN 0

TIPO DE CONSTRUCCIÓN

Construcción Ligera

Construcción Ligera

Construcción Mediana

Construcción Pesada

g0	g1	g2	p0	p1
1.68	-1.73	0.05	1	-0.82

CALCULAR

Figura 3.14: Pantalla de datos generales para el retiro de calor

• Datos de facturación.

- Rendimiento energético del equipo de aire acondicionado.
- Tipo de tarifa.

The screenshot shows a software window titled "SIMULADOR [CÁLCULO]". It has three tabs: "SIMULACIÓN PARA UN DÍA", "DATOS GENERALES DEL INMUEBLE", and "CARGA DE ENFRIAMIENTO". The "DATOS GENERALES DEL INMUEBLE" tab is selected, and within it, the "FACTURACIÓN" sub-tab is active. The "DATOS" section contains two main parts: "RENDIMIENTO ENERGÉTICO DEL EQUIPO" and "TARIFA". The "RENDIMIENTO ENERGÉTICO DEL EQUIPO" section has five rows for floors (PISO 1 to PISO 5), each with two input fields: one for "kBtu/h" and one for "kW". The "TARIFA" section has a dropdown menu for "TIPO" currently set to "TARIFA DOMÉSTICA 1F". There are "ACEPTAR" and "CALCULAR" buttons at the bottom right. The Windows taskbar at the bottom shows the Start button and several open applications: Windows Explorer, Tesis MIT - Microsof..., Microsoft Excel - SI..., and Visual Basic. The system clock shows 8:53 AM.

Figura 3.15: Pantalla de datos generales para la facturación

Los datos se piden en unidades inglesas, aunque el despliegue de resultados se entrega, ya sea en unidades inglesas (carga de enfriamiento en $\frac{btu}{h}$, retiro de calor en $\frac{btu}{h}$) como en unidades internacionales (carga de enfriamiento en ton , retiro de calo en ton , consumo en kWh). El consumo es desplegado en unidades

internacionales debido a que al aplicar la tarifa de la región se requieren dichas unidades.

Cálculo por módulos

En el Capítulo 2 se describió el Método de Funciones de Transferencia, basado en esta metodología se programaron los diferentes módulos del simulador térmico. A continuación se enlistan los diez módulos para la simulación térmica de una construcción:

- Temperatura horaria.
- Temperatura aire-sol.
- Ganancia de calor de la envolvente.
- Ganancia de calor debida a las personas.
- Ganancia de calor debida al equipo.
- Humedad relativa horaria mensual para Mexicali.
- Carga de enfriamiento.
- Retiro de calor.
- Horas-Grado
- Facturación.

Despliegue de resultados

Se hace utilizando una interfase con Excel para el despliegue de resultados de la simulación térmica. La interfase con Excel es muy conveniente debido a que permite hacer un reporte tabulado de los

resultados para los diferentes pisos y elaborar gráficas que ayudan a una mejor comprensión de los resultados de la simulación.

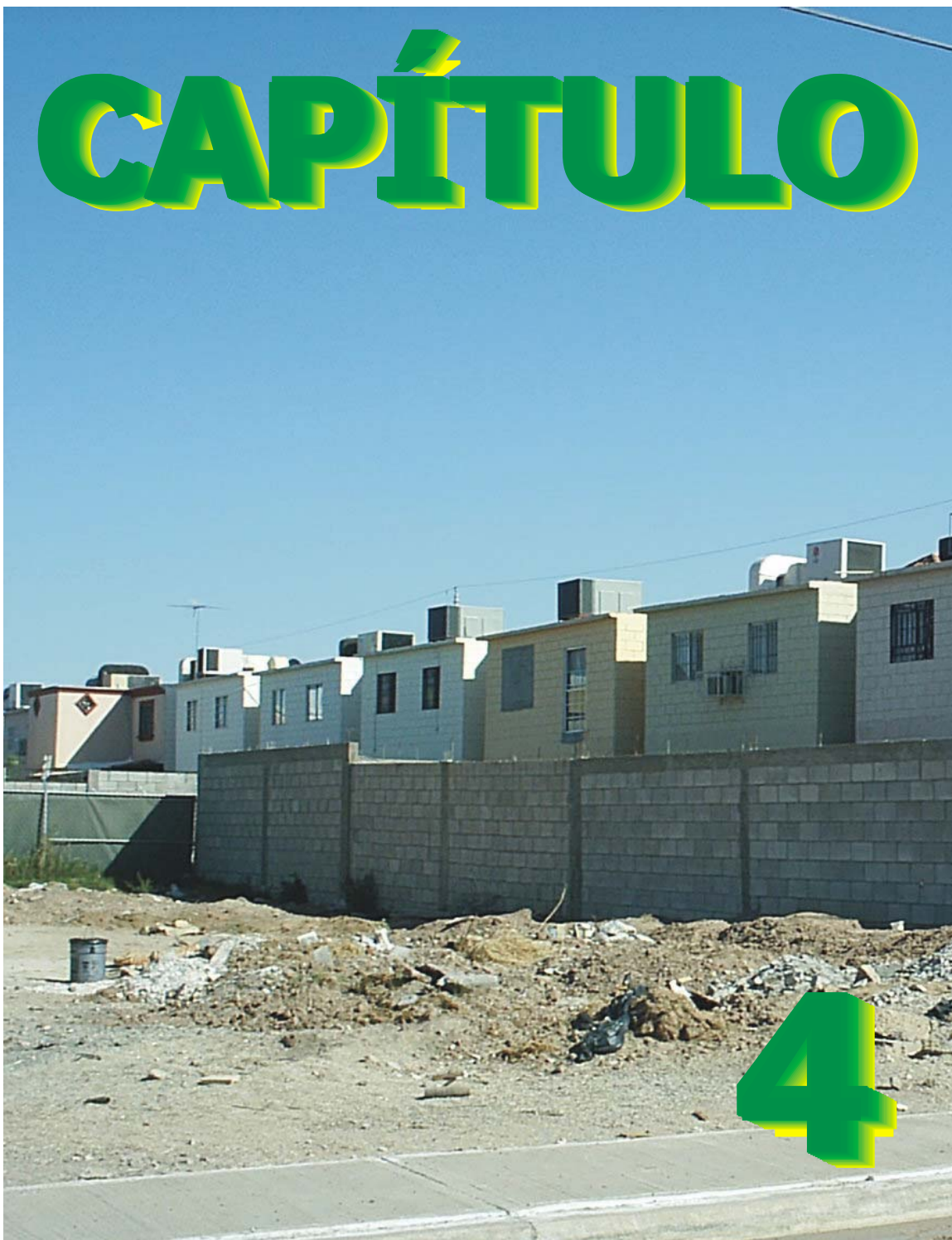
La Figura 3.16 muestra la tabla general de resultados de una simulación térmica en una construcción de un solo piso.

M [=] MES
D [=] DIA
HG [=] HORAS GRADO
CE [=] CARGA DE ENFRIAMIENTO
RC [=] RETIRO DE CALOR
C [=] CONSUMO
F [=] FACTURACIÓN

PISO 1								
M	D	HG (hF)	CE (btu/h)	RC (btu/h)	CE (ton)	RC (ton)	C (kWh)	F (\$ pesos)
AGOSTO	1	411.9	292400.25	231122.22	24.37	19.26	28.02	
	2	443.8	306888.74	240219.25	25.57	20.02	28.93	
	3	428.5	299943.95	235858.76	25.00	19.65	28.49	
	4	409.5	291307.94	230436.38	24.28	19.20	27.95	
	5	489.0	327363.36	253074.86	27.28	21.09	30.21	
	6	432.9	301948.71	237117.50	25.16	19.76	28.62	
	7	363.9	270635.35	217456.47	22.55	18.12	26.65	
	8	347.7	263289.61	212844.22	21.94	17.74	26.19	
	9	387.9	281515.29	224287.77	23.46	18.69	27.34	
	10	410.6	291819.43	230757.53	24.32	19.23	27.98	
	11	447.4	308533.75	241252.12	25.71	20.10	29.03	
	12	402.7	288239.00	228509.45	24.02	19.04	27.76	
	13	398.9	286524.66	227433.05	23.88	18.95	27.65	
	14	400.9	287413.99	227991.44	23.95	19.00	27.71	
	15	407.0	290174.42	229724.66	24.18	19.14	27.88	
	16	421.0	296561.50	233734.98	24.71	19.48	28.28	
	17	396.4	285391.14	226721.34	23.78	18.89	27.58	
	18	373.0	274773.49	220054.72	22.90	18.34	26.91	
	19	381.0	278423.25	222346.33	23.20	18.53	27.14	
	20	344.1	261662.70	211822.72	21.81	17.65	26.09	
	21	286.4	235533.58	195416.76	19.63	16.28	24.45	
	22	288.6	236515.35	196033.19	19.71	16.34	24.51	
	23	319.2	250381.81	204739.67	20.87	17.06	25.38	
	24	311.7	246999.35	202615.89	20.58	16.88	25.17	
	25	323.7	252450.88	206038.80	21.04	17.17	25.51	
	26	364.6	270966.97	217664.68	22.58	18.14	26.67	
	27	327.0	253944.14	206976.39	21.16	17.25	25.60	
	28	296.8	240234.44	198368.33	20.02	16.53	24.74	
	29	131.2	165165.19	151233.84	13.76	12.60	20.03	
	30	180.3	187418.47	165206.23	15.62	13.77	21.43	
	31	99.1	150607.37	142093.27	12.55	11.84	19.12	
			8275028.08	6669152.81	689.59	555.76	819.02	403.16

Figura 3.16: Tabla de Excel de despliegue de resultados

CAPÍTULO



4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se corrieron varios casos prácticos en ambos simuladores (Excel y Visual Basic 6) para validar los resultados del nuevo simulador (Visual Basic 6) y estos mismos casos sirven para obtener resultados de ganancia de calor por infiltración utilizando la función de humedad relativa horaria mensual desarrollada a partir de registros históricos de humedad relativa en Mexicali de 1997, 1998, 1999, 2000, 2002 y 2003. En el Apéndice B se muestran los datos de un caso práctico ingresado en ambos simuladores obteniéndose los siguientes resultados en infiltración, consumo y facturación.

INFILTRACIÓN

En la Figura 4.1 se muestran los factores que contribuyen a las ganancias de calor para una casa habitación para un día en periodo de verano, calculados con el simulador desarrollado en Excel y en la Figura 4.2 se presentan los resultados para la misma casa habitación, calculados con el simulador desarrollado en Visual Basic 6.

El objetivo del presente trabajo es determinar la variación que existe en el cálculo de la ganancia de calor por infiltración utilizando ambos simuladores y determinar su efecto en la facturación mensual de la casa habitación.

Para un día seleccionado del periodo de verano, los resultados de infiltración con el simulador desarrollado en Excel y Visual Basic 6 son de 6.8 % y 5.5 % respectivamente. Se puede observar que estos resultados no difieren significativamente entre sí, así como más adelante se demostrará que el consumo y la facturación mensual para la casa habitación varía, también, en una proporción poco significativa, debido a que la ganancia por infiltración representan alrededor del 5 % al 7 % del total de la ganancia de calor para la envolvente de una construcción.

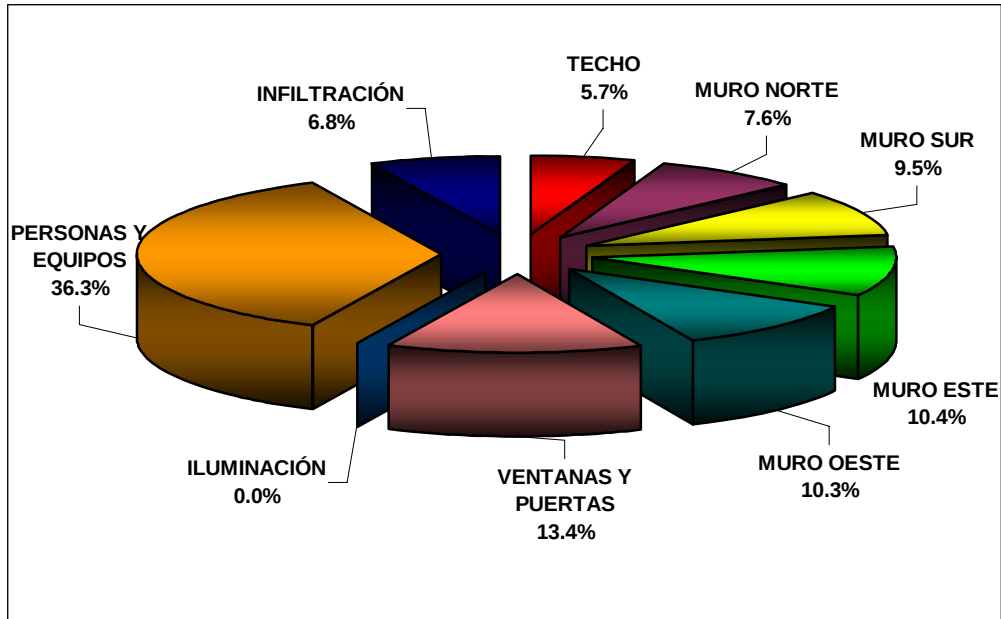


Figura 4.1: Resultados del simulador en Excel.

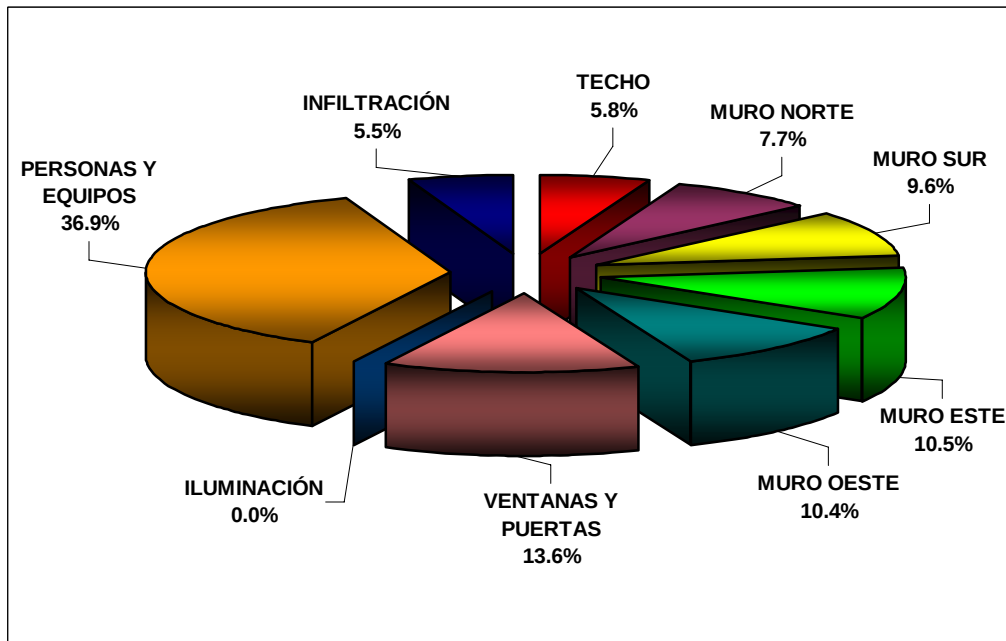


Figura 4.2: Resultados del simulador en Visual Basic 6.

CONSUMO Y FACTURACIÓN

En las Tablas 4.1 y 4.2 se muestra la similitud en los resultados obtenidos para el consumo y facturación para el periodo de verano en ambos simuladores para la casa habitación. Para el simulador en Excel el consumo y facturación es de 7362.11 kWh y 5046.55 pesos respectivamente, mientras que para el simulador en Visual Basic 6 es de 7432.28 kWh y 5139.21 pesos.

Tabla 4.1: Resultados de consumo y facturación para la casa habitación utilizando el simulador en Excel.

	CE (Btu/h)	RC (Btu/h)	CE (ton)	RC (ton)	C (kWh)	F (\$ pesos)
MAY	10310984.42	8570895.71	859.25	714.24	1083.84	538.07
JUN	14253699.40	11362822.41	1187.81	946.90	1366.53	953.27
JUL	17253422.90	13540092.77	1437.79	1128.34	1597.80	1253.28
AGO	17890504.32	13955352.23	1490.88	1162.95	1639.32	1312.48
SEP	12340385.01	9967691.69	1028.37	830.64	1221.33	779.46
OCT	3151017.80	2719895.37	262.58	226.66	453.30	210.00
VERANO					7362.11	5046.55

Tabla 4.2: Resultados de consumo y facturación para la casa habitación utilizando el simulador en Visual Basic 6.

	CE (Btu/h)	RC (Btu/h)	CE (ton)	RC (ton)	C (kWh)	F (\$ pesos)
MAY	10226192.31	8856517.92	852.18	738.04	1090.46	541.57
JUN	14371091.80	11741541.72	1197.59	978.46	1383.16	974.27
JUL	17498979.88	13991406.07	1458.25	1165.95	1620.97	1282.60
AGO	18186068.88	14420517.35	1515.51	1201.71	1663.88	1343.52
SEP	12379124.25	10299895.77	1031.59	858.32	1233.32	794.18
OCT	3076462.04	2810523.13	256.37	234.21	440.49	203.06
VERANO					7432.28	5139.21

Las Figuras 4.3 y 4.4 representan los datos graficados del consumo y facturación durante el periodo de verano para la casa habitación calculado con ambos simuladores, estas gráficas muestran que la desviación durante todos los meses de verano para el consumo y facturación es muy poca, por lo tanto corresponderá también una

desviación pequeña para la totalidad del consumo y la facturación para el verano.

Tabla 4.3: Porcentaje de desviación de consumo y facturación para la casa habitación.

	CE % De Desviación	RC % De Desviación	CE % De Desviación	RC % De Desviación	C % De Desviación	F % De Desviación
MAY	0.82%	-3.33%	0.82%	-3.33%	-0.61%	-0.65%
JUN	-0.82%	-3.33%	-0.82%	-3.33%	-1.22%	-2.20%
JUL	-1.42%	-3.33%	-1.42%	-3.33%	-1.45%	-2.34%
AGO	-1.65%	-3.33%	-1.65%	-3.33%	-1.50%	-2.37%
SEP	-0.31%	-3.33%	-0.31%	-3.33%	-0.98%	-1.89%
OCT	2.37%	-3.33%	2.37%	-3.33%	2.83%	3.30%
VERANO					-0.95 %	-1.84 %
					0.95 %	1.84 %

Como se observa en la Tabla 4.3 la desviación para el consumo y facturación en el periodo de verano entre ambos simuladores es de 0.95 % y 1.84 %, estos resultados se obtienen de las ecuaciones 4.1 y 4.2, respectivamente:

$$Abs\left\{\left[\frac{7362.11 \text{ kWh}-7432.28 \text{ kWh}}{7362.11 \text{ kWh}}\right](100)\right\} = -0.95\% \quad (4.1)$$

$$Abs\left\{\left[\frac{5046.55\text{Pesos}-5139.21\text{Pesos}}{5046.55\text{Pesos}}\right](100)\right\} = -1.84\% \quad (4.2)$$

Por lo tanto esta desviación es debida al cálculo de la ganancia de calor por infiltración utilizando la función de humedad relativa horaria mensual desarrollada a partir de registros históricos de humedad relativa en Mexicali de 1997, 1998, 1999, 2000, 2002 y 2003.

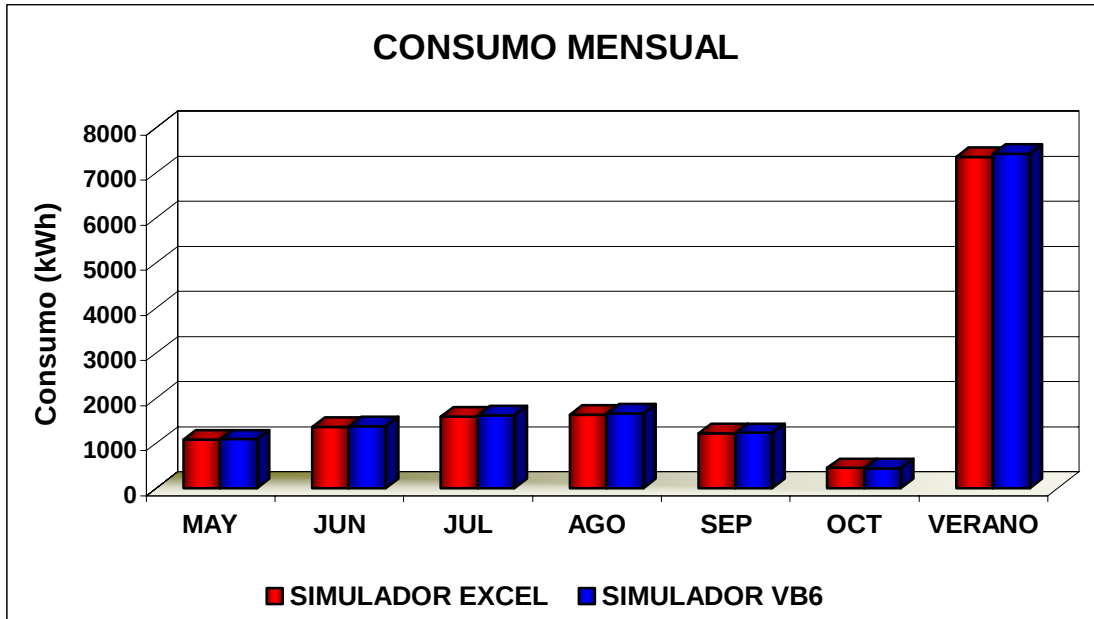


Figura 4.3: Consumo mensual de la casa habitación.

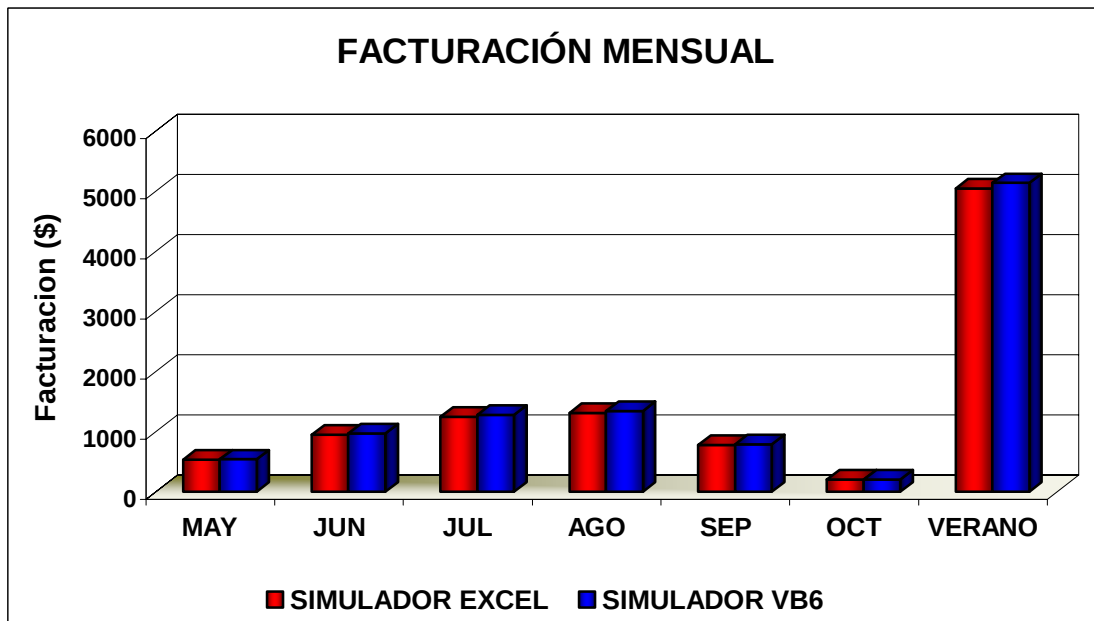
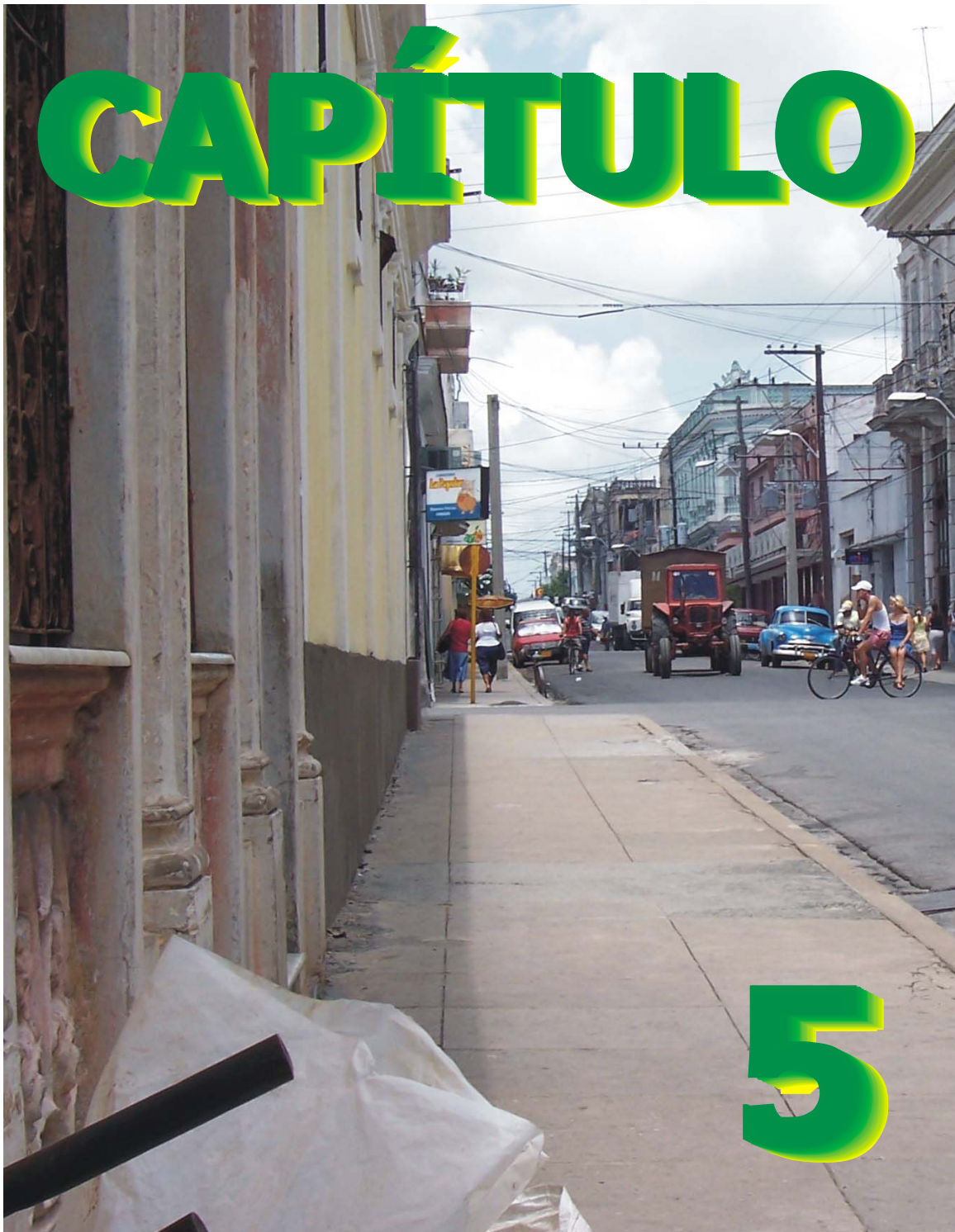


Figura 4.4: Facturación mensual de la casa habitación.



5. CONCLUSIONES

Se desarrolló un simulador térmico de edificaciones en climas cálidos que utiliza el Método de Funciones de Transferencia y Horas-Grado, además, se incorporó una función polinomial de ajuste que describe el comportamiento de la humedad horaria mensual para Mexicali, para el cálculo de ganancias de calor por infiltración y ventilación.

De acuerdo a lo antes mencionado y de los resultados mostrados en el capítulo 4 se puede concluir lo siguiente:

1.- Se obtuvo un simulador térmico en lenguaje Visual Basic 6 que es más amigable para el usuario no especializado en la metodología de cálculo que la versión en Excel previamente desarrollado en el Área de Energía del Instituto de Ingeniería. La versión en Visual Basic 6 está diseñada para edificaciones de hasta 5 pisos y cuenta con una base de datos con los diferentes sistemas constructivos de la región, lo cual no era posible en la versión en Excel.

2.- En la versión en Excel se utiliza una humedad promedio horaria mensual a lo largo de todo el periodo de verano, para calcular ganancias de calor por infiltración y ventilación en tono que con la versión en Visual Basic 6 se utiliza una función polinomial de humedad relativa horaria mensual desarrollada a partir de registros históricos de humedad relativa en Mexicali de 1997, 1998, 1999, 2000, 2002 y 2003. De acuerdo con los resultados mostrados en el capítulo 5 no

existe una desviación significativa en la ganancia de calor por infiltración o ventilación entre ambos simuladores, por lo tanto se puede concluir que en regiones con climas secos como Mexicali se puede utilizar la humedad promedio mensual a lo largo de todo el verano.

3.- Dicha diferencia en el cálculo de las ganancias de calor por infiltración y ventilación entre ambos simuladores no sobrepasa el 1.3%, lo que indica que el efecto de variación mensual horaria no es apreciable. Adicionalmente, el efecto de infiltración o ventilación es una pequeña parte de la carga de enfriamiento de la construcción por lo que no existe una desviación significativa en el consumo y facturación en los resultados de ambos simuladores, siendo estos del 0.95% y 1.84%, respectivamente.

4.- El programa desarrollado en este trabajo incorpora e integra la utilización del concepto de horas-grado para el cálculo de ganancias de calor, carga de enfriamiento, rapidez de retiro de calor, consumo y facturación mensuales en el simulador. Esto permite optimizar tiempo de cálculo, simplifica el análisis y proporciona resultados realistas del comportamiento térmico de una edificación en función del clima de una región específica y de sus hábitos de uso, con lo que la evaluación técnico-económica es mucho más confiable.

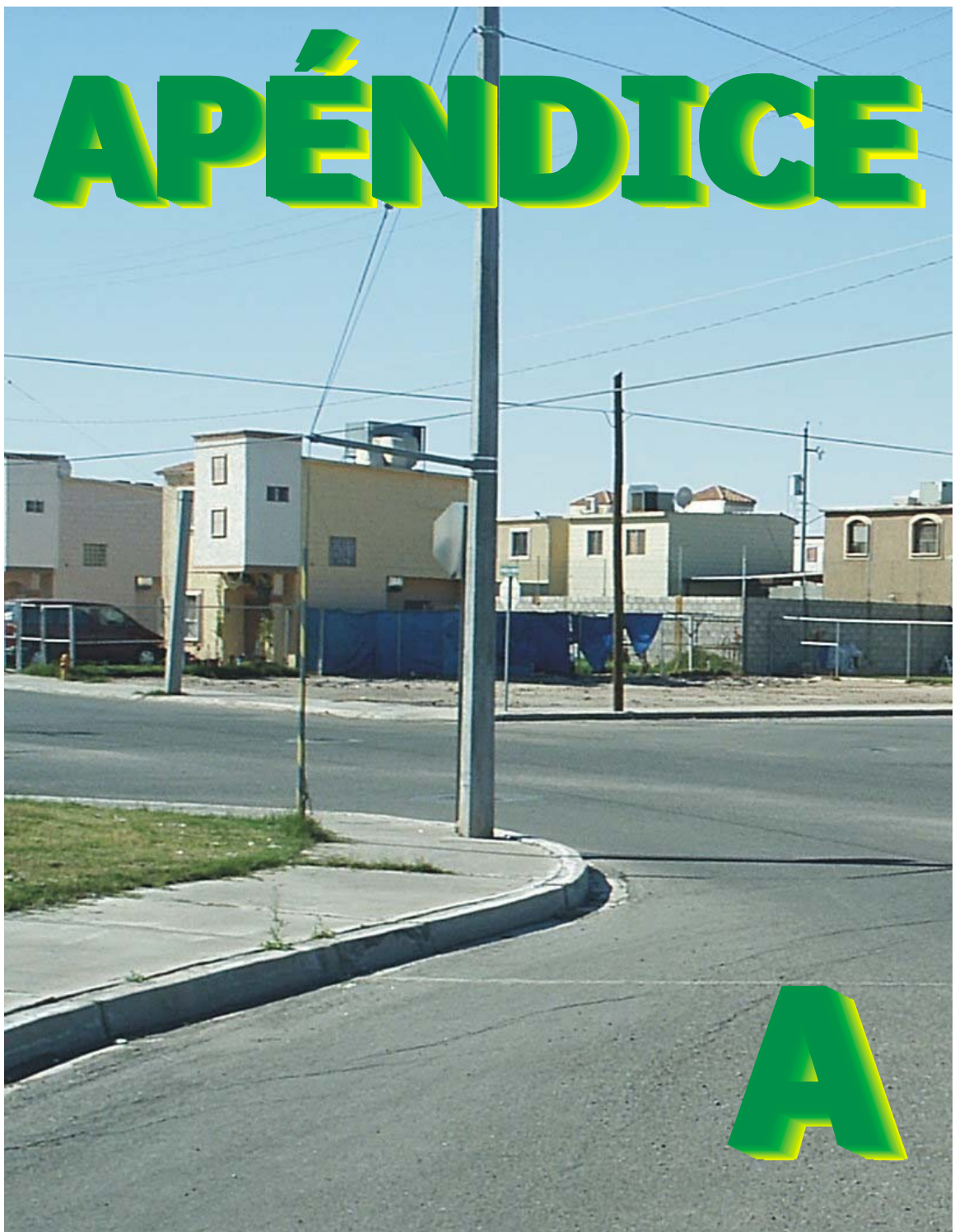
5.- El simulador en lenguaje Visual Basic 6 se puede considerar un simulador térmico muy completo para las regiones de climas secos como Mexicali, debido a que se realiza una captura de información para la simulación térmica en un tiempo menor que en el simulador en Excel, ya que este se desarrolló en ambiente Windows que facilita el ingreso de información de la envolvente de una construcción, por contar con una base de datos de los diferentes sistemas constructivos de la región.

6.- El Simulador en lenguaje Visual Basic 6 puede optimizarse haciendo las siguientes adecuaciones:

a) Mexicali, Cienfuegos, Ensenada, Tijuana y Hermosillo son las ciudades a las cuales se les determinó los coeficientes de ajuste $\langle m \rangle$, A y B de la función periódica de Fourier, para el cálculo de temperatura horaria y Horas-Grado que se utilizan en la simulación térmica, una forma de hacer más completo este simulador es calcular estos factores para otras ciudades de México y otros países e incorporarlos a la base de datos del programa.

b) Además se puede ampliar la base de datos de los diferentes materiales constructivos que se tiene en el simulador en Visual Basic 6, para otras regiones de México y otros países.

c) Otra forma de optimizar el simulador en Visual Basic 6 consiste en hacer la caracterización térmica de los diferentes tipos de vivienda que actualmente existen en regiones secas como Mexicali y correlacionarlas para obtener una función matemática que simplificaría la simulación térmica en Visual Basic 6.



APÉNDICE A

Tabla A.1: Humedad relativa.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA AÑO: 2003 MES: JULIO																								
HORA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
DIA																								
1	47.9	72.0	77.6	80.6	88.6	95.2	90.7	82.4	76.0	65.1	49.8	32.8	27.7	25.5	24.6	22.3	21.3	19.6	25.4	31.7	34.8	39.3	40.7	41.0
2	40.1	41.7	57.7	68.6	82.4	87.4	86.2	74.9	56.6	35.1	26.0	23.6	21.7	22.0	22.5	22.7	22.9	23.0	23.1	23.0	23.0	23.1	23.0	23.2
3	23.1	23.1	23.1	23.3	23.0	23.1	23.2	23.0	23.4	22.9	21.7	20.3	19.0	17.0	15.8	14.4	12.3	11.3	11.4	12.7	15.3	17.4	18.3	19.8
4	22.5	22.4	23.1	24.7	25.8	25.5	27.7	26.2	19.9	16.1	13.7	12.5	10.6	9.5	10.1	10.7	10.5	11.0	11.4	11.3	12.4	12.0	14.2	22.1
5	26.9	33.6	36.6	39.4	40.2	42.7	54.3	57.3	59.6	56.1	43.2	31.9	23.5	20.2	19.8	18.8	20.6	21.0	27.2	25.2	30.5	36.5	42.1	49.5
6	57.7	62.9	68.7	75.9	80.7	86.9	86.8	82.5	76.0	67.2	50.8	35.8	31.5	26.8	23.8	20.9	22.2	22.2	22.4	27.1	35.8	38.0	48.0	55.9
7	67.4	75.3	72.1	66.4	62.6	71.9	79.0	77.3	71.2	56.5	39.7	32.2	26.7	21.6	21.6	19.3	15.6	14.5	16.2	18.2	30.4	53.9	59.3	62.8
8	65.6	58.5	58.3	59.7	59.5	59.8	65.5	66.8	68.4	60.9	53.9	46.1	36.3	29.6	22.7	18.7	19.3	23.0	23.2	24.6	28.6	31.8	42.9	50.1
9	55.0	60.0	65.7	64.3	54.5	47.7	42.0	39.9	45.0	50.9	47.6	36.2	29.2	24.7	23.0	21.4	20.0	20.3	22.1	23.0	27.8	29.2	31.1	34.8
10	34.3	36.8	44.3	52.1	64.4	76.1	81.6	79.6	74.6	66.7	54.6	47.3	43.6	37.8	30.4	29.8	32.1	31.1	32.3	34.4	34.0	41.8	44.6	54.3
11	69.2	72.2	71.6	71.3	71.4	77.9	80.8	80.1	71.5	60.5	53.2	45.0	35.3	36.4	31.9	29.8	28.6	26.7	25.6	30.4	34.5	42.2	49.0	53.4
12	59.1	63.0	67.2	71.9	74.5	75.1	77.2	76.2	71.2	58.9	41.4	31.8	27.0	22.1	20.6	21.0	21.4	21.0	24.0	24.2	24.0	37.0	35.6	30.0
13	37.3	57.7	66.3	67.7	67.1	68.7	68.5	62.1	49.0	35.6	34.2	27.6	22.1	19.1	16.2	14.7	13.8	13.2	14.4	16.0	17.5	18.1	17.0	27.2
14	39.5	18.0	20.9	24.2	52.4	59.1	53.5	45.1	35.2	25.1	21.5	18.2	15.5	16.5	17.0	16.4	14.8	14.8	15.5	17.6	20.4	27.3	30.0	32.4
15	49.4	58.8	63.1	61.4	57.3	59.5	60.6	63.4	58.8	45.4	37.9	34.4	29.6	27.1	25.3	22.7	26.6	29.7	29.5	30.1	35.7	41.1	41.1	36.6
16	38.6	38.5	40.6	44.0	41.9	45.6	47.1	41.0	36.1	35.3	40.6	34.2	29.6	27.2	24.7	19.9	18.4	24.0	26.9	32.5	36.3	41.9	46.2	52.1
17	55.3	52.7	58.3	60.5	63.7	66.9	66.8	62.6	59.4	46.8	35.5	34.5	32.2	28.4	25.2	20.0	18.5	31.7	33.3	34.7	36.9	35.1	34.4	43.2
18	48.6	54.8	53.8	54.1	59.8	58.7	56.9	55.1	52.6	43.6	41.9	41.9	44.1	39.7	36.8	36.2	34.7	33.4	34.7	35.8	40.2	46.5	51.6	57.3
19	67.1	75.6	77.5	77.7	77.3	74.2	70.3	68.1	66.5	58.9	44.3	35.5	30.5	27.6	26.1	25.8	26.2	28.0	30.3	31.6	25.3	26.4	27.2	28.5
20	27.8	28.3	28.5	30.0	31.7	33.8	36.8	38.8	43.7	35.8	28.4	24.9	23.3	22.4	23.4	20.5	16.9	15.3	16.7	17.3	19.7	23.8	27.0	28.1
21	29.3	30.0	30.1	30.0	34.2	45.2	51.6	45.7	41.4	44.4	44.2	42.7	38.2	34.0	31.0	28.6	25.8	24.6	26.1	27.2	29.2	32.0	41.1	45.0
22	48.0	51.6	58.0	62.9	64.5	67.6	67.1	68.4	65.4	60.0	49.8	45.2	40.7	32.4	37.2	49.6	49.9	36.6	30.7	32.7	39.6	57.1	65.0	63.0
23	62.8	67.6	77.5	84.8	86.8	84.2	82.5	78.5	77.0	66.4	56.2	46.2	37.9	31.8	26.4	24.0	23.0	24.2	25.4	27.6	28.9	28.9	30.0	33.1
24	34.4	35.0	42.0	47.9	52.0	56.1	59.8	62.7	60.9	57.1	48.8	41.1	36.7	35.3	29.7	26.4	26.9	30.9	28.4	28.0	29.2	28.3	29.5	36.2
25	41.5	49.5	57.0	55.3	53.2	62.3	70.3	70.3	65.5	64.0	59.3	45.8	37.6	35.3	32.0	30.2	26.3	23.4	23.5	25.8	30.5	32.9	35.2	36.4
26	46.3	67.5	67.5	67.1	67.0	69.8	70.8	67.5	58.7	50.1	48.7	41.2	36.6	36.1	32.8	28.9	27.3	28.5	30.5	32.5	34.3	36.4	38.1	39.0
27	42.9	46.2	53.5	58.7	60.1	60.5	66.7	70.7	74.4	73.1	63.7	47.8	38.5	37.7	32.8	31.1	31.6	37.2	37.2	39.3	40.7	45.5	54.0	62.0
28	64.8	69.8	66.8	64.9	66.6	68.1	69.8	64.7	62.7	69.5	56.2	47.4	58.5	66.4	74.6	72.7	70.6	65.4	59.7	55.4	57.4	66.8	72.3	72.6
29	72.6	78.5	79.0	81.0	84.8	84.8	85.7	83.7	76.1	61.3	59.2	49.1	45.3	41.3	39.8	39.2	37.3	36.6	38.2	41.6	45.2	54.6	60.3	63.5
30	70.6	81.3	82.8	77.7	77.5	75.6	77.4	77.0	74.0	66.2	56.5	51.2	46.1	43.6	40.3	37.5	38.0	34.2	33.5	35.3	38.4	43.0	50.1	53.8
31	57.7	61.7	68.5	74.2	78.7	79.9	80.0	75.5	64.8	53.6	47.6	39.8	35.4	33.6	33.4	29.6	29.6	31.4	30.5	29.3	33.3	37.8	42.9	47.1

Tabla A.2: Humedad relativa promedio horaria cada día un mes ($\overline{HR}_{j,k}$).

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA AÑO: 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003 MES: JULIO																								
HORA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
DIA																								
1	47.2	53.8	57.7	59.5	62.0	63.9	60.3	55.9	48.6	38.3	31.9	26.5	23.9	22.1	20.1	18.8	19.2	19.0	21.7	23.4	25.2	24.6	24.3	27.5
2	32.6	39.1	45.0	48.3	51.6	55.1	56.0	50.1	41.8	33.3	28.2	24.4	22.3	22.3	22.6	21.9	21.3	20.7	21.1	22.4	24.4	25.9	27.2	30.0
3	31.3	33.5	35.3	34.7	34.9	34.6	34.3	33.8	34.3	32.0	29.0	27.2	23.8	22.1	21.1	20.4	20.3	19.6	19.1	20.7	24.0	26.0	28.2	30.4
4	34.6	35.1	37.9	40.1	40.2	39.4	37.8	36.3	33.2	28.8	26.0	23.0	21.2	19.3	18.7	18.8	17.9	17.7	18.2	19.0	21.7	24.2	28.6	34.5
5	39.9	44.2	43.7	43.4	44.0	45.0	46.5	46.0	42.3	38.0	30.2	26.7	24.7	22.8	22.4	23.5	30.9	23.6	25.9	26.7	28.3	31.1	35.1	39.6
6	44.0	47.3	46.2	50.7	55.2	58.1	59.7	57.9	52.7	46.9	42.3	37.3	33.7	31.0	29.7	28.2	28.2	29.6	29.6	33.1	38.1	42.5	47.7	53.9
7	60.0	64.2	63.2	62.8	66.6	68.8	66.1	64.2	56.8	47.1	39.9	35.5	33.7	32.1	31.2	30.9	30.5	30.3	30.8	31.9	33.4	39.7	42.9	47.2
8	52.2	56.0	58.6	61.0	60.7	62.9	59.9	57.0	54.2	48.4	41.6	37.4	37.1	34.9	33.6	32.5	31.7	34.5	33.5	33.6	37.1	38.6	41.5	43.4
9	45.4	48.6	53.5	51.5	53.4	52.9	50.4	47.3	44.7	42.7	38.7	33.2	31.6	29.8	27.3	26.5	27.2	33.1	30.1	31.0	31.0	30.8	30.6	33.1
10	37.7	35.8	37.0	41.0	43.6	46.9	48.7	48.4	45.7	41.0	35.8	31.9	30.6	28.7	26.8	25.9	25.3	25.0	26.1	27.4	28.3	31.8	32.4	38.1
11	44.3	50.0	49.3	51.0	51.5	53.0	53.6	51.2	44.4	38.3	34.0	30.4	27.3	26.7	24.8	24.1	23.9	23.5	24.6	28.3	30.3	31.7	34.3	39.0
12	43.3	47.3	49.0	46.9	47.0	51.1	52.3	52.0	51.6	45.4	38.2	33.5	30.4	28.6	27.7	25.1	25.6	28.7	30.6	35.4	39.2	44.8	47.7	49.6
13	53.2	58.9	62.6	62.7	63.3	64.2	62.7	59.8	52.4	43.6	39.3	34.6	30.7	28.1	27.4	24.4	25.6	26.0	28.9	31.2	31.7	33.8	34.3	41.4
14	46.5	46.3	49.9	49.7	53.1	55.7	54.3	49.2	42.9	35.5	31.7	28.9	26.7	26.1	25.6	25.3	26.4	26.7	26.6	26.7	26.9	29.3	32.0	34.1
15	39.5	41.5	42.1	41.0	41.3	44.4	44.7	43.2	40.7	35.1	30.4	29.0	27.0	25.2	24.2	23.4	22.2	22.4	23.5	24.1	26.1	27.6	28.5	30.6
16	31.8	33.5	34.5	36.3	36.1	37.8	36.5	33.4	32.4	29.7	30.2	27.4	27.0	26.7	25.7	24.1	23.4	26.0	27.0	29.4	32.3	33.9	37.5	40.6
17	43.1	44.3	43.6	43.5	45.2	45.7	47.3	44.1	45.4	41.0	34.0	30.0	28.0	26.0	24.6	23.3	22.8	24.6	25.8	27.9	30.4	31.5	32.5	38.0
18	43.9	49.0	49.4	49.5	52.9	53.3	50.3	44.7	40.6	36.0	33.8	31.5	29.4	27.9	26.1	25.7	26.3	27.0	27.5	29.3	32.6	36.3	38.9	42.4
19	49.2	51.8	52.0	53.3	52.3	53.1	51.9	47.5	42.3	37.4	32.7	30.6	28.4	27.1	26.4	25.9	25.7	26.6	27.5	29.8	30.1	30.8	33.0	34.9
20	37.2	41.2	43.2	42.3	43.3	45.7	47.4	48.3	47.7	43.0	36.7	30.5	27.1	26.0	26.1	24.2	22.4	23.7	25.2	27.8	29.0	33.2	37.0	41.1
21	46.2	48.6	51.5	53.3	55.5	57.2	55.9	52.3	48.6	45.7	41.1	35.8	31.6	30.6	30.5	29.3	26.5	26.9	28.8	30.7	33.7	38.4	39.9	42.1
22	44.2	48.6	52.7	54.8	55.4	56.7	55.8	57.9	55.9	46.1	38.5	36.2	31.6	30.6	29.7	31.1	31.3	29.2	29.1	31.0	31.9	38.4	44.7	48.3
23	52.0	54.9	57.6	62.9	68.4	70.9	70.7	67.1	62.2	50.8	43.5	39.6	34.9	33.6	34.0	37.2	36.3	36.1	37.2	36.3	37.3	38.9	41.3	45.8
24	48.0	49.2	51.7	56.2	60.4	61.0	59.5	55.2	49.6	42.1	35.4	32.3	30.1	29.2	27.8	26.2	26.3	26.8	27.2	29.2	31.2	31.3	32.1	35.4
25	40.2	45.8	49.2	51.9	53.4	58.3	58.2	57.5	50.6	44.9	39.0	34.6	32.2	30.5	27.6	26.5	25.5	25.1	25.1	25.8	28.8	30.6	33.2	36.8
26	40.0	46.6	48.7	49.5	47.8	51.1	52.3	49.9	45.4	40.8	36.5	32.6	29.9	29.0	26.3	24.1	23.7	23.8	25.3	28.7	29.2	31.6	31.6	32.0
27	39.7	44.4	48.2	52.5	55.1	54.3	55.7	53.8	52.4	49.3	42.4	35.8	31.6	30.1	28.4	28.2	27.7	28.0	28.3	29.5	30.6	33.1	34.4	41.8
28	47.4	52.5	53.7	54.3	55.0	56.7	58.4	58.1	53.1	49.6	45.7	40.5	40.7	39.1	38.4	37.3	38.3	41.1	44.8	43.1	46.2	49.9	51.4	52.2
29	50.7	52.8	52.7	54.3	56.9	57.1	60.0	57.5	53.7	47.5	42.3	37.6	35.9	32.1	29.9	30.1	29.4	31.3	31.5	33.5	36.9	40.6	42.9	47.0
30	51.4	57.7	59.8	61.1	62.2	63.9	64.9	62.9	57.8	50.6	42.9	37.8	34.4	31.7	29.8	28.1	27.4	26.0	27.1	28.8	30.5	32.7	34.9	37.7
31	42.2	44.4	49.4	54.6	53.5	56.3	57.3	52.0	47.9	42.6	40.1	34.9	32.0	30.9	30.4	27.3	27.2	26.9	27.6	27.7	27.4	30.4	33.4	38.0

Tabla A.3: Humedad relativa promedio horaria mensual de los años históricos ($\overline{HR}_k$).

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA AÑO: 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003 MES: JULIO																								
HORA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
DIA																								
1	47.2	53.8	57.7	59.5	62.0	63.9	60.3	55.9	48.6	38.3	31.9	26.5	23.9	22.1	20.1	18.8	19.2	19.0	21.7	23.4	25.2	24.6	24.3	27.5
2	32.6	39.1	45.0	48.3	51.6	55.1	56.0	50.1	41.8	33.3	28.2	24.4	22.3	22.3	22.6	21.9	21.3	20.7	21.1	22.4	24.4	25.9	27.2	30.0
3	31.3	33.5	35.3	34.7	34.9	34.6	34.3	33.8	34.3	32.0	29.0	27.2	23.8	22.1	21.1	20.4	20.3	19.6	19.1	20.7	24.0	26.0	28.2	30.4
4	34.6	35.1	37.9	40.1	40.2	39.4	37.8	36.3	33.2	28.8	26.0	23.0	21.2	19.3	18.7	18.8	17.9	17.7	18.2	19.0	21.7	24.2	28.6	34.5
5	39.9	44.2	43.7	43.4	44.0	45.0	46.5	46.0	42.3	38.0	30.2	26.7	24.7	22.8	22.4	23.5	30.9	23.6	25.9	26.7	28.3	31.1	35.1	39.6
6	44.0	47.3	46.2	50.7	55.2	58.1	59.7	57.9	52.7	46.9	42.3	37.3	33.7	31.0	29.7	28.2	28.2	29.6	29.6	33.1	38.1	42.5	47.7	53.9
7	60.0	64.2	63.2	62.8	66.6	68.8	66.1	64.2	56.8	47.1	39.9	35.5	33.7	32.1	31.2	30.9	30.5	30.3	30.8	31.9	33.4	39.7	42.9	47.2
8	52.2	56.0	58.6	61.0	60.7	62.9	59.9	57.0	54.2	48.4	41.6	37.4	37.1	34.9	33.6	32.5	31.7	34.5	33.5	33.6	37.1	38.6	41.5	43.4
9	45.4	48.6	53.5	51.5	53.4	52.9	50.4	47.3	44.7	42.7	38.7	33.2	31.6	29.8	27.3	26.5	27.2	33.1	30.1	31.0	31.0	30.8	30.6	33.1
10	37.7	35.8	37.0	41.0	43.6	46.9	48.7	48.4	45.7	41.0	35.8	31.9	30.6	28.7	26.8	25.9	25.3	25.0	26.1	27.4	28.3	31.8	32.4	38.1
11	44.3	50.0	49.3	51.0	51.5	53.0	53.6	51.2	44.4	38.3	34.0	30.4	27.3	26.7	24.8	24.1	23.9	23.5	24.6	28.3	30.3	31.7	34.3	39.0
12	43.3	47.3	49.0	46.9	47.0	51.1	52.3	52.0	51.6	45.4	38.2	33.5	30.4	28.6	27.7	25.1	25.6	28.7	30.6	35.4	39.2	44.8	47.7	49.6
13	53.2	58.9	62.6	62.7	63.3	64.2	62.7	59.8	52.4	43.6	39.3	34.6	30.7	28.1	27.4	24.4	25.6	26.0	28.9	31.2	31.7	33.8	34.3	41.4
14	46.5	46.3	49.9	49.7	53.1	55.7	54.3	49.2	42.9	35.5	31.7	28.9	26.7	26.1	25.6	25.3	26.4	26.7	26.6	26.7	26.9	29.3	32.0	34.1
15	39.5	41.5	42.1	41.0	41.3	44.4	44.7	43.2	40.7	35.1	30.4	29.0	27.0	25.2	24.2	23.4	22.2	22.4	23.5	24.1	26.1	27.6	28.5	30.6
16	31.8	33.5	34.5	36.3	36.1	37.8	36.5	33.4	32.4	29.7	30.2	27.4	27.0	26.7	25.7	24.1	23.4	26.0	27.0	29.4	32.3	33.9	37.5	40.6
17	43.1	44.3	43.6	43.5	45.2	45.7	47.3	44.1	45.4	41.0	34.0	30.0	28.0	26.0	24.6	23.3	22.8	24.6	25.8	27.9	30.4	31.5	32.5	38.0
18	43.9	49.0	49.4	49.5	52.9	53.3	50.3	44.7	40.6	36.0	33.8	31.5	29.4	27.9	26.1	25.7	26.3	27.0	27.5	29.3	32.6	36.3	38.9	42.4
19	49.2	51.8	52.0	53.3	52.3	53.1	51.9	47.5	42.3	37.4	32.7	30.6	28.4	27.1	26.4	25.9	25.7	26.6	27.5	29.8	30.1	30.8	33.0	34.9
20	37.2	41.2	43.2	42.3	43.3	45.7	47.4	48.3	47.7	43.0	36.7	30.5	27.1	26.0	26.1	24.2	22.4	23.7	25.2	27.8	29.0	33.2	37.0	41.1
21	46.2	48.6	51.5	53.3	55.5	57.2	55.9	52.3	48.6	45.7	41.1	35.8	31.6	30.6	30.5	29.3	26.5	26.9	28.8	30.7	33.7	38.4	39.9	42.1
22	44.2	48.6	52.7	54.8	55.4	56.7	55.8	57.9	55.9	46.1	38.5	36.2	31.6	30.6	29.7	31.1	31.3	29.2	29.1	31.0	31.9	38.4	44.7	48.3
23	52.0	54.9	57.6	62.9	68.4	70.9	70.7	67.1	62.2	50.8	43.5	39.6	34.9	33.6	34.0	37.2	36.3	36.1	37.2	36.3	37.3	38.9	41.3	45.8
24	48.0	49.2	51.7	56.2	60.4	61.0	59.5	55.2	49.6	42.1	35.4	32.3	30.1	29.2	27.8	26.2	26.3	26.8	27.2	29.2	31.2	31.3	32.1	35.4
25	40.2	45.8	49.2	51.9	53.4	58.3	58.2	57.5	50.6	44.9	39.0	34.6	32.2	30.5	27.6	26.5	25.5	25.1	25.1	25.8	28.8	30.6	33.2	36.8
26	40.0	46.6	48.7	49.5	47.8	51.1	52.3	49.9	45.4	40.8	36.5	32.6	29.9	29.0	26.3	24.1	23.7	23.8	25.3	28.7	29.2	31.6	31.6	32.0
27	39.7	44.4	48.2	52.5	55.1	54.3	55.7	53.8	52.4	49.3	42.4	35.8	31.6	30.1	28.4	28.2	27.7	28.0	28.3	29.5	30.6	33.1	34.4	41.8
28	47.4	52.5	53.7	54.3	55.0	56.7	58.4	58.1	53.1	49.6	45.7	40.5	40.7	39.1	38.4	37.3	38.3	41.1	44.8	43.1	46.2	49.9	51.4	52.2
29	50.7	52.8	52.7	54.3	56.9	57.1	60.0	57.5	53.7	47.5	42.3	37.6	35.9	32.1	29.9	30.1	29.4	31.3	31.5	33.5	36.9	40.6	42.9	47.0
30	51.4	57.7	59.8	61.1	62.2	63.9	64.9	62.9	57.8	50.6	42.9	37.8	34.4	31.7	29.8	28.1	27.4	26.0	27.1	28.8	30.5	32.7	34.9	37.7
31	42.2	44.4	49.4	54.6	53.5	56.3	57.3	52.0	47.9	42.6	40.1	34.9	32.0	30.9	30.4	27.3	27.2	26.9	27.6	27.7	27.4	30.4	33.4	38.0
Promedio Horario Mensual	42.3	45.0	46.2	47.6	48.8	50.2	49.6	47.1	43.2	38.2	34.5	31.8	29.9	28.8	28.0	27.4	27.5	28.0	28.9	30.4	31.8	33.6	35.2	38.6

Tabla A.4: Porcentaje de desviación ($\%D_{j,k}$).

DIA		$\overline{HR}_k$	$\%D_{j,k}$	$\overline{HR}_k$	$\%D_{j,k}$	$\overline{HR}_k$	$\%D_{j,k}$	$\overline{HR}_k$	$\%D_{j,k}$	$\overline{HR}_k$	$\%D_{j,k}$	$\overline{HR}_k$	$\%D_{j,k}$	$\overline{HR}_k$	$\%D_{j,k}$	$\overline{HR}_k$	$\%D_{j,k}$	
HORA	$\overline{HI}$	01/12/97-2003		03/12/97-2003		06/12/97-2003		09/12/97-2003		15/12/97-2003		21/12/97-2003		27/12/97-2003		31/12/97-2003		
0	42.32	47.21	10.35	31.30	-35.23	44.00	3.81	45.38	6.73	39.48	-7.19	46.25	8.49	39.72	-6.56	42.24	-0.20	
1	45.03	53.77	16.24	33.50	-34.41	47.34	4.86	48.59	7.32	41.55	-8.39	48.58	7.30	44.45	-1.32	44.44	-1.33	
2	46.25	57.73	19.88	35.30	-31.01	46.17	-0.18	53.55	13.63	42.06	-9.95	51.47	10.15	48.21	4.07	49.43	6.45	
3	47.56	59.52	20.10	34.73	-36.94	50.65	6.10	51.47	7.59	40.96	-16.10	53.35	10.84	52.53	9.46	54.58	12.86	
4	48.81	61.96	21.22	34.90	-39.84	55.22	11.61	53.42	8.62	41.30	-18.20	55.48	12.02	55.13	11.47	53.48	8.73	
5	50.23	63.87	21.36	34.62	-45.10	58.11	13.56	52.94	5.11	44.40	-13.12	57.20	12.18	54.30	7.49	56.28	10.74	
6	49.58	60.25	17.71	34.33	-44.45	59.73	16.98	50.38	1.59	44.74	-10.83	55.92	11.33	55.65	10.90	57.29	13.45	
7	47.06	55.92	15.84	33.81	-39.18	57.86	18.66	47.28	0.47	43.16	-9.04	52.33	10.06	53.82	12.56	51.99	9.47	
8	43.23	48.59	11.03	34.30	-26.04	52.65	17.89	44.66	3.20	40.74	-6.12	48.63	11.09	52.41	17.52	47.88	9.71	
9	38.20	38.30	0.27	32.00	-19.38	46.88	18.52	42.70	10.54	35.06	-8.98	45.67	16.34	49.28	22.48	42.56	10.25	
10	34.49	31.95	-7.95	29.02	-18.86	42.27	18.40	38.70	10.89	30.36	-13.60	41.06	16.01	42.45	18.75	40.06	13.91	
11	31.75	26.49	-19.84	27.21	-16.70	37.28	14.84	33.24	4.47	29.03	-9.37	35.76	11.20	35.83	11.39	34.92	9.09	
12	29.87	23.88	-25.12	23.83	-25.34	33.69	11.33	31.62	5.52	27.00	-10.66	31.64	5.58	31.63	5.54	31.96	6.52	
13	28.78	22.05	-30.51	22.14	-30.01	30.96	7.06	29.78	3.36	25.18	-14.27	30.64	6.09	30.12	4.47	30.94	6.99	
14	27.99	20.08	-39.42	21.10	-32.67	29.68	5.69	27.28	-2.61	24.22	-15.54	30.53	8.32	28.36	1.32	30.39	7.89	
15	27.40	18.78	-45.91	20.39	-34.38	28.23	2.93	26.49	-3.42	23.42	-17.01	29.28	6.40	28.25	2.99	27.26	-0.53	
16	27.51	19.16	-43.58	20.29	-35.59	28.21	2.46	27.23	-1.05	22.16	-24.17	26.47	-3.95	27.73	0.78	27.25	-0.97	
17	28.05	19.03	-47.37	19.64	-42.77	29.64	5.38	33.05	15.15	22.41	-25.17	26.91	-4.23	27.99	-0.20	26.87	-4.38	
18	28.94	21.73	-33.21	19.07	-51.80	29.62	2.29	30.12	3.92	23.53	-23.00	28.76	-0.64	28.26	-2.42	27.61	-4.83	
19	30.37	23.38	-29.88	20.70	-46.68	33.10	8.28	31.02	2.11	24.08	-26.12	30.70	1.10	29.46	-3.08	27.66	-9.78	
20	31.82	25.17	-26.42	23.97	-32.76	38.11	16.49	31.01	-2.61	26.06	-22.12	33.73	5.66	30.61	-3.96	27.44	-15.99	
21	33.60	24.60	-36.63	25.96	-29.43	42.48	20.89	30.80	-9.09	27.56	-21.93	38.36	12.40	33.09	-1.57	30.37	-10.64	
22	35.23	24.29	-45.02	28.20	-24.92	47.71	26.16	30.58	-15.19	28.51	-23.57	39.87	11.64	34.43	-2.32	33.42	-5.42	
23	38.56	27.50	-40.24	30.37	-26.96	53.86	28.40	33.11	-16.46	30.60	-26.01	42.06	8.32	41.79	7.72	37.97	-1.57	
		Desv. Promedio	-13.21		-33.35		11.77		2.49		-15.85		8.07		5.31		2.93	-0.35
		Desv. Maxima	21.36		-16.70		28.40		15.15		-6.12		16.34		22.48		13.91	14.87
		Desv. Minima	-47.37		-51.80		-0.18		-16.46		-26.12		-4.23		-6.56		-15.99	-15.80
		desv. Stdr.	26.44		9.12		7.96		7.96		6.67		5.44		7.78		8.43	9.25

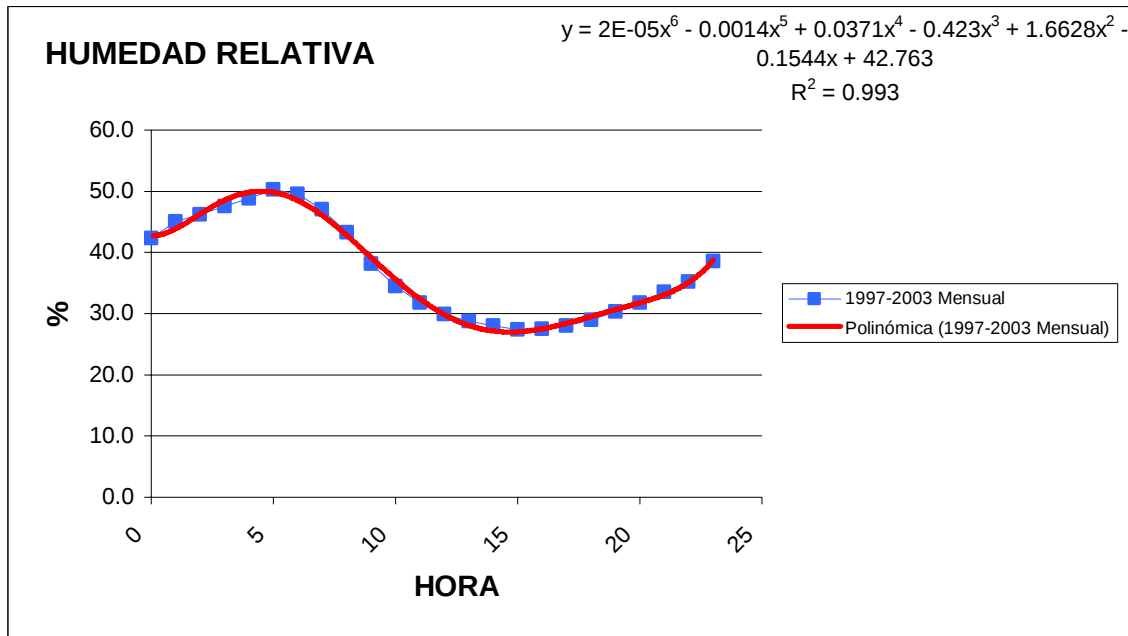


Figura A.1: Polinomio de orden 6.

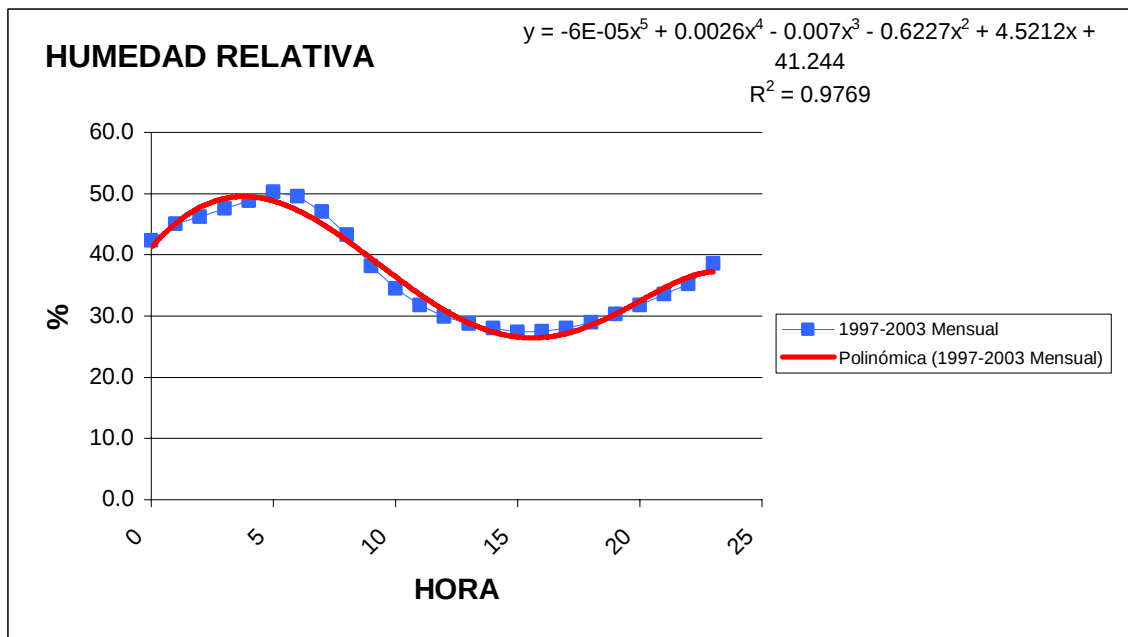


Figura A.2: Polinomio de orden 5

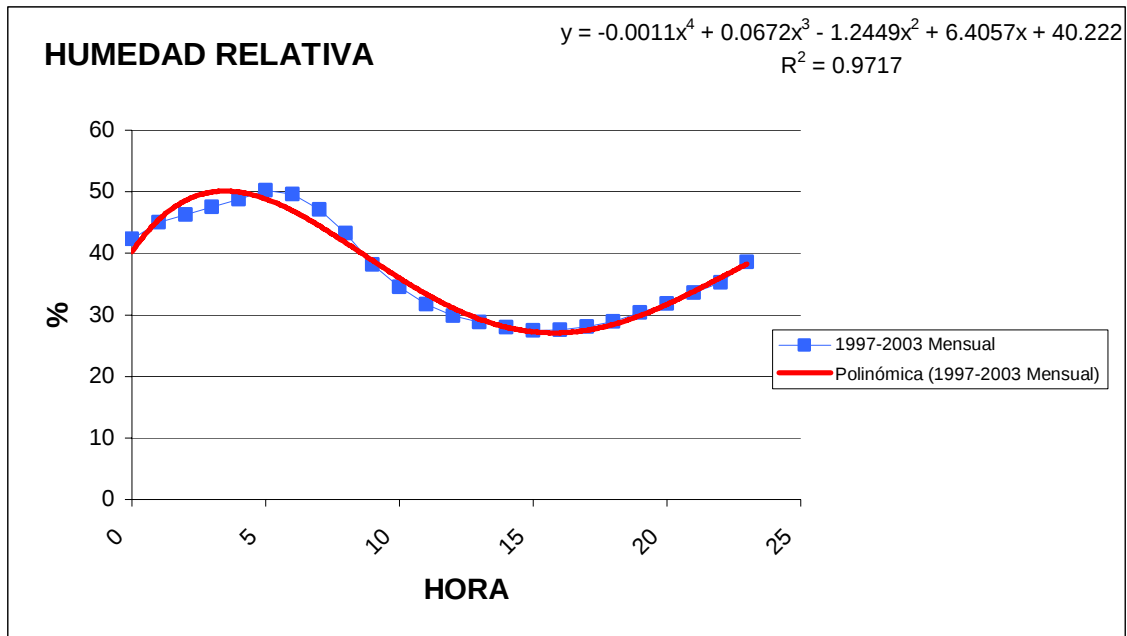


Figura A.3: Polinomio de orden 4

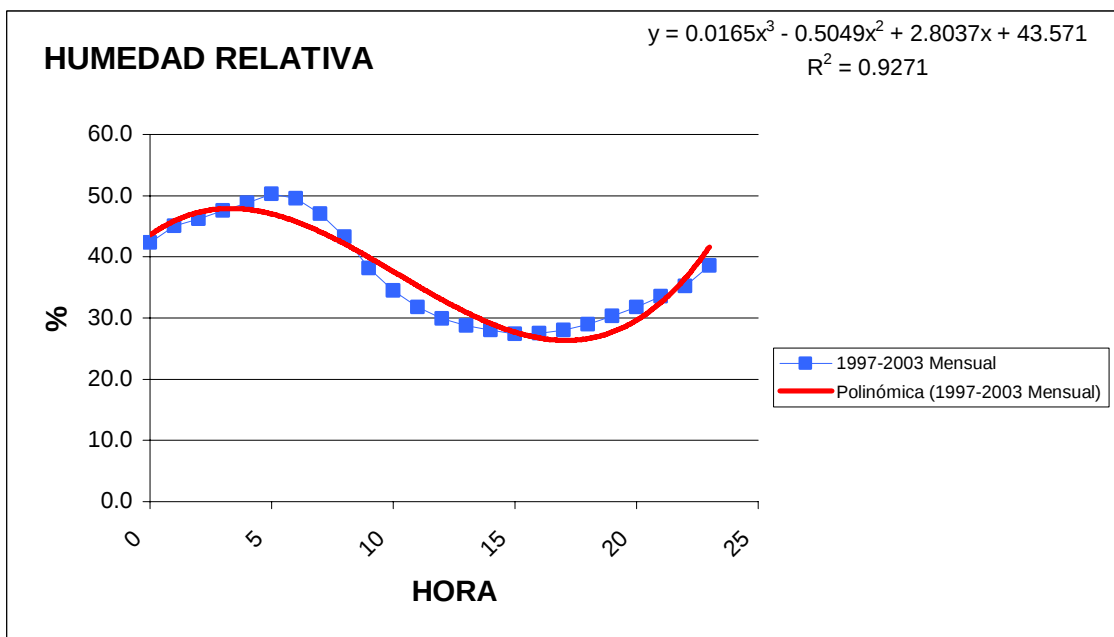
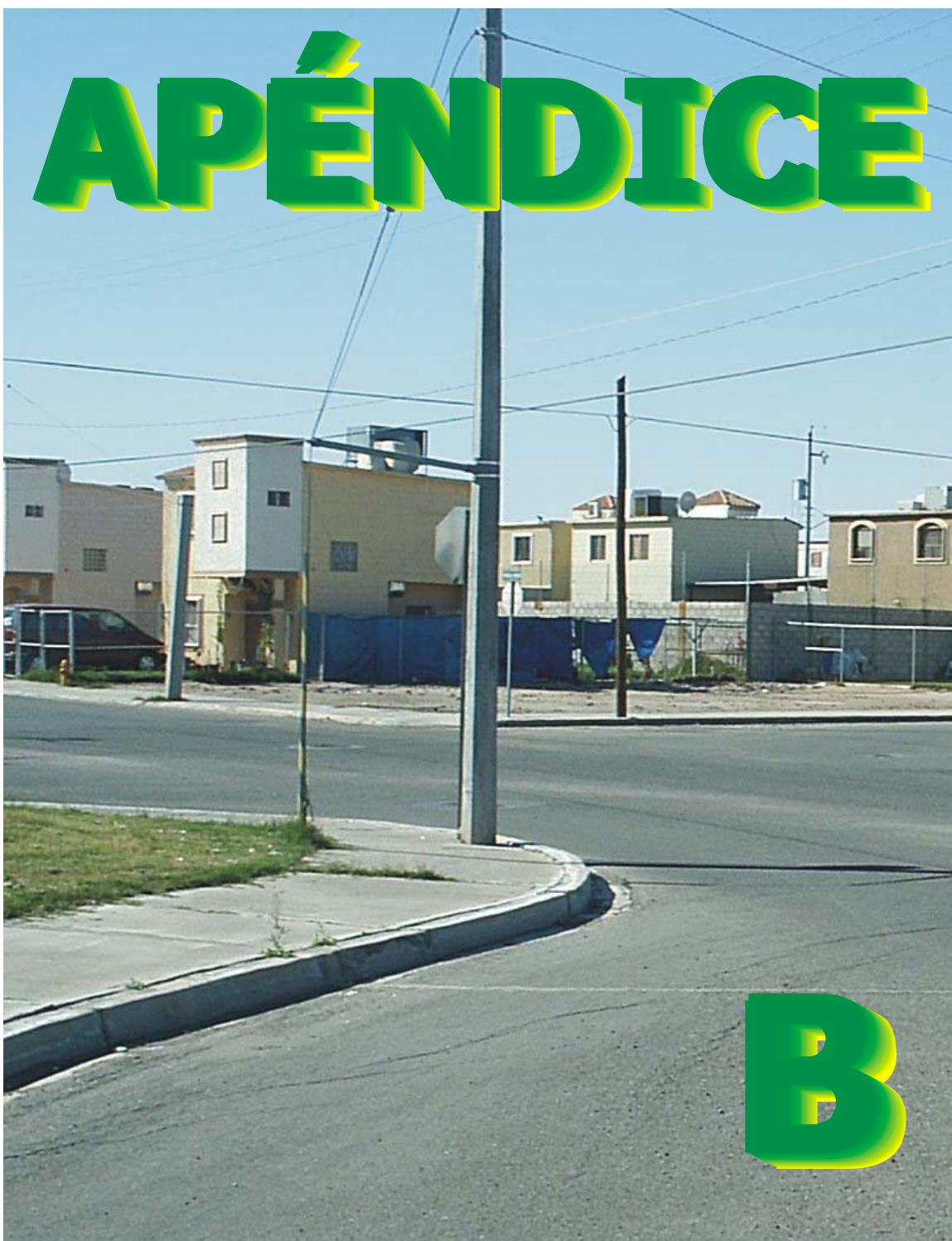


Figura A.4: Polinomio de orden 3



APÉNDICE B

El caso práctico consiste en una casa habitación de dos pisos de muro de concreto y techo de vigueta y bovedilla la cual tiene las siguientes especificaciones:

PLANTA BAJA

Temperatura de planta = $78^{\circ}F$

Tarifa aplicada: 1F.

MURO	Área Total (ft ²)
NORTE	92.84176448
SUR	93.45714496
ESTE	166.79715776
OESTE	200.10624000

MATERIAL DE MUROS		
	Código	Resistencia térmica °F ft ² h/btu
Resistencia externa	A0	0.330
Emplaste 3/8 Mortero Stucco	E1	0.080
4 in heavyweight concrete	C5	0.333
Acabado interior	A6	0.170
Resistencia interna	E0	0.690
Resistencia total		1.603

COEFICIENTES DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA CONDUCCIÓN		
Muro: Tipo 3	Resistencia térmica: 1.603	
<i>n</i>	<i>bn</i>	<i>dn</i>
0	4.106600E-03	1.000000E+00
1	3.230460E-02	-7.696300E-01
2	1.474380E-02	4.014260E-02
3	4.655040E-04	-4.197010E-04
4	2.893710E-07	2.728380E-10
5	6.227410E-14	-1.299670E-22
6	-4.362310E-16	2.066470E-37
<i>cn</i>	5.162080E-02	
<i>Ua</i>	<i>Uw</i>	
0.623830318	1.911220E-01	

GANANCIA DE CALOR EN VENTANAS POR CONDUCCIÓN				
ORIENTACION	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
VENTANA TIPO	METAL	METAL	METAL	
COEFICIENTE	1.11	1.11	1.11	
ÁREA	22.70345152	5.08979904	15.23497024	

GANANCIA DE CALOR EN PUERTAS POR CONDUCCIÓN				
ORIENTACION	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
PUERTA TIPO		METAL	METAL	
COEFICIENTE		0.4	0.4	
ÁREA		16.998272	18.074112	

GANANCIA DE CALOR DEBIDA A EQUIPOS					
EQUIPO	CANTIDAD	CALOR SENSIBLE $\frac{Btu}{h}$	CALOR LATENTE $\frac{Btu}{h}$	FACTOR DE USO	HORAS DE USO
VENTILADOR	2	242	0	1	1 AM - 7 AM y 22 PM - 24 PM
REFRIGERADOR	1	401	0	1	1 AM - 24 PM
TELEVISIÓN	1	386	0	1	19 PM - 21 PM
RADIO	1	130	0	1	7 AM - 8 AM
PLANCHA	1	244	0	0.29	7 AM
LAVADORA	1	98	0	0.29	
MICRO-ONDAS	1	154	0	0.5	7 AM
CAFETERA	1	478	239	0.5	7 AM, 12 PM y 19 PM
ESTUFA	0	0	0	0	

GANANCIA DE CALOR DEBIDA A PERSONAS				
EQUIPO	CANTIDAD	CALOR SENSIBLE $\frac{Btu}{h}$	CALOR LATENTE $\frac{Btu}{h}$	HORAS DE OCUPACIÓN
PERSONAS	3	250	200	4 AM - 8 AM y 17 PM - 21 PM

GANANCIA DEBIDA A ILUMINACIÓN		
LAMPARA	CANTIDAD	CAPACIDAD (watt)
INCANDESCENTE		
FLUORESCENTE	5	24

CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO FACTORES DE PISO				
	Conducción	Solar	Iluminación	Personas
V_0	0.721155861	0.513550189	0.754926351	0.713756314
V_1	-0.849735507	-0.548530202	-0.846646811	-0.770574002
V_2	0.191739648	0.10957004	0.178890466	0.131247707
W_1	-1.282909989	-1.223739982	-1.215939999	-1.178449988
W_2	0.346069992	0.298330009	0.303110003	0.252880007

CÁLCULO DE LA RETIRO DE CALOR	
Rapidez máxima de extracción de calor	18000 $\frac{Btu}{h}$
Rapidez mínima de extracción de calor	0 $\frac{Btu}{h}$
Variación del set point	5 °F
Rapidez de flujo de aire de ventilación	0 cfm
Rapidez de flujo de aire de infiltración	15 cfm

CONSTRUCCIÓN DE LA ENVOLVENTE	g_0^* $\frac{Btu}{hft^2F}$	g_1^* $\frac{Btu}{hft^2F}$	g_2^* $\frac{Btu}{hft^2F}$	p_0 Adimensional	p_1 Adimensional
Mediana	1.61	-1.81	0.08	1	-0.87

PLANTA ALTA

Temperatura de planta = 78 °F

Tarifa aplicada: 1F.

MURO	Área Total (ft ²)
NORTE	97.83473792
SUR	111.80021696
ESTE	184.87126976
OESTE	200.10624000
TECHO	361.28052000

MATERIAL DE MUROS		
	Código	Resistencia térmica °F ft ² h/btu
Resistencia externa	A0	0.330
Emplaste 3/8 Mortero Stucco	E1	0.080
4 in heavyweight concrete	C5	0.333
Acabado interior	A6	0.170
Resistencia interna	E0	0.690
Resistencia total		1.603

COEFICIENTES DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA CONDUCCIÓN		
Muro: Tipo 3	Resistencia térmica: 1.603	
<i>n</i>	<i>bn</i>	<i>dn</i>
0	4.106600E-03	1.000000E+00
1	3.230460E-02	-7.696300E-01
2	1.474380E-02	4.014260E-02
3	4.655040E-04	-4.197010E-04
4	2.893710E-07	2.728380E-10
5	6.227410E-14	-1.299670E-22
6	-4.362310E-16	2.066470E-37
<i>cn</i>	5.162080E-02	
<i>Ua</i>	<i>Uw</i>	
0.623830318	1.911220E-01	

COEFICIENTES DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA PARA CONDUCCIÓN		
Techo: Tipo 3	Resistencia térmica: 5.0492	
<i>n</i>	<i>bn</i>	<i>dn</i>
0	6.134400E-03	1.000000E+00
1	3.982870E-02	-7.561450E-01
2	1.375390E-02	1.438670E-02
3	2.485070E-04	-6.000280E-05
4	9.088660E-08	7.145660E-11
5	2.525690E-14	-7.372240E-22
6	-3.949790E-16	0.000000E+00
<i>cn</i>	5.996560E-02	
<i>Ua</i>	<i>Uw</i>	
0.198049007	2.322610E-01	

GANANCIA DE CALOR EN VENTANAS POR CONDUCCIÓN				
ORIENTACION	NORTE	SUR	ESTE	OESTE
VENTANA TIPO	METAL	METAL	METAL	
COEFICIENTE	1.11	1.11	1.11	
ÁREA	17.71047808	3.74499904	15.23497024	

GANANCIA DE CALOR DEBIDA A EQUIPOS					
EQUIPO	CANTIDAD	CALOR SENSIBLE $\frac{Btu}{h}$	CALOR LATENTE $\frac{Btu}{h}$	FACTOR DE USO	HORAS DE USO
VENTILADOR	2	242	0	1	1 AM - 7 AM y 22 PM - 24 PM
REFRIGERADOR		401	0	1	
TELEVISIÓN	2	386	0	1	19 PM - 21 PM
RADIO	2	130	0	1	7 AM - 8 AM
PLANCHA		244	0	0.29	
LAVADORA		98	0	0.29	
MICRO-ONDAS		154	0	0.5	
CAFETERA		478	239	0.5	
ESTUFA					

GANANCIA DE CALOR DEBIDA A PERSONAS				
EQUIPO	CANTIDAD	CALOR SENSIBLE $\frac{Btu}{h}$	CALOR LATENTE $\frac{Btu}{h}$	HORAS DE OCUPACIÓN
PERSONAS	3	250	200	1 AM - 8 AM y 17 PM - 24 PM

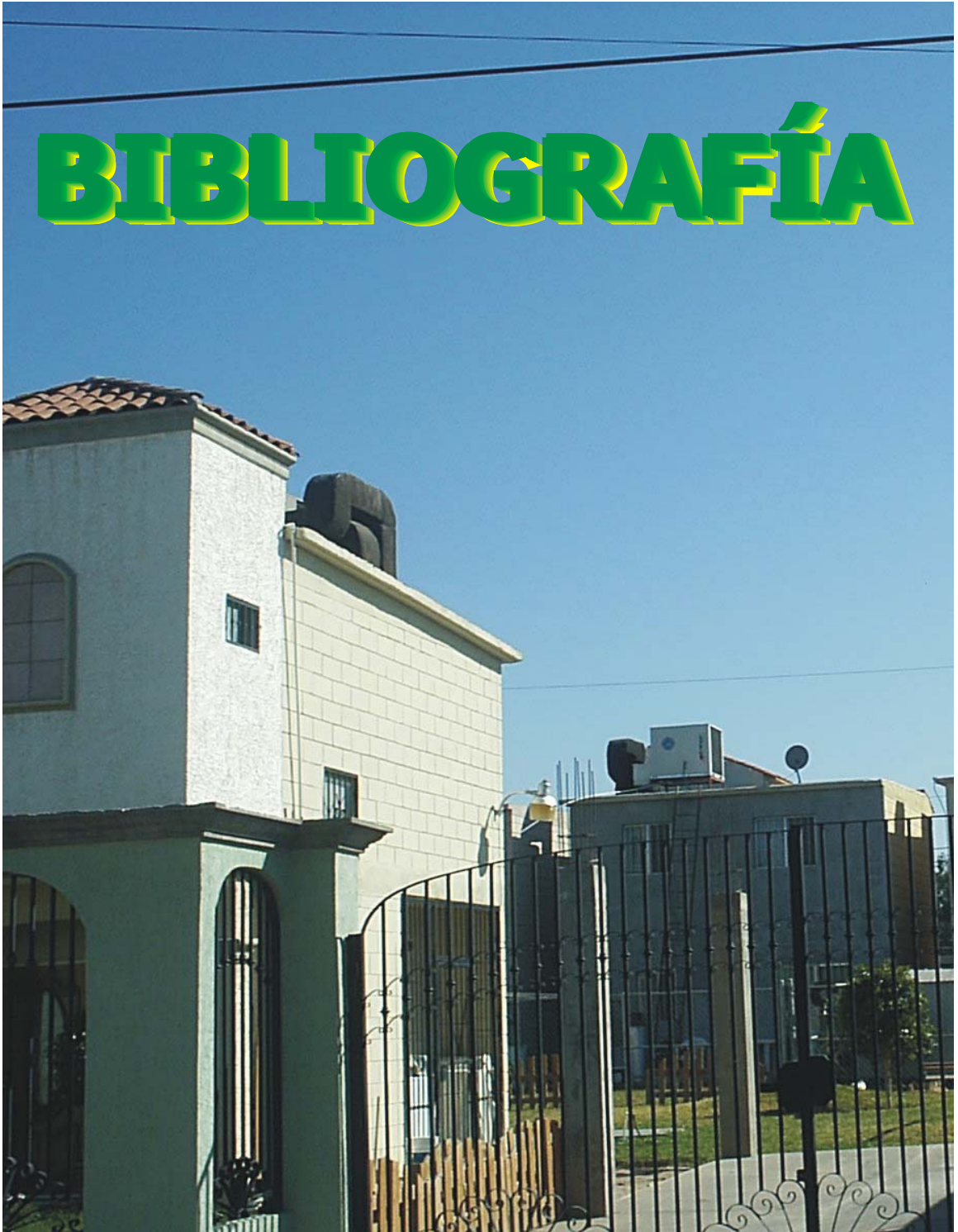
GANANCIA DEBIDA A ILUMINACIÓN		
LAMPARA	CANTIDAD	CAPACIDAD (watt)
INCANDESCENTE		
FLUORESCENTE	4	24

CÁLCULO DE LA CARGA DE ENFRIAMIENTO				
FACTORES DE PISO				
	Conducción	Solar	Iluminación	Personas
V_0	0.786509752	0.647139663	0.774118872	0.722956886
V_1	-0.642395311	-0.664889618	-0.83530405	-0.774450949
V_2	0.115725556	0.150419911	0.188195136	0.17888409
W_1	-0.934780002	-1.206500053	-1.164790034	-1.187559962
W_2	0.194619998	0.339170009	0.291799992	0.314949989

CÁLCULO DE LA RETIRO DE CALOR		
Rapidez máxima de extracción de calor	24000	$\frac{Btu}{h}$
Rapidez mínima de extracción de calor	0	$\frac{Btu}{h}$
Variación del set point	5	$^{\circ}F$
Rapidez de flujo de aire de ventilación	0	cfm
Rapidez de flujo de aire de infiltración	15	cfm

CONSTRUCCIÓN DE LA ENVOLVENTE	g_0^* $\frac{Btu}{hft^2F}$	g_1^* $\frac{Btu}{hft^2F}$	g_2^* $\frac{Btu}{hft^2F}$	p_0 Adimensional	p_1 Adimensional
Mediana	1.61	-1.81	0.08	1	-0.87

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

1. McQuiston F. C., Spitler J. D., Cooling and heating load calculation manual, Ed. ASHRAE, Estados Unidos, 1992
2. Pérez T. C., Campbell R. H., Notas para el curso de materiales aislantes y reflectivos, UABC, 1999
3. Pinazo Ojer José Manuel, Manual de climatización, Tomo I, Ed. Servicios de publicaciones, México., 1999
4. Pinazo Ojer José Manuel, Manual de climatización, Tomo II, Ed. Servicios de publicaciones, México., 1999
5. Pita Edgard G., Acondicionamiento de aire, Ed. CECSA, México., 2002
6. Riggs J. L., Bedworth D. D., Randhawa S. U., Ingeniería económica, Ed. Alfaomega, México, 2002
7. Valenzuela Román Celia Edith, Horas Grado: Una metodología para caracterización de la climatología de una región con propósitos de ahorro y uso eficiente de la energía, tesis de licenciatura, UABC, 2004