

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN Y RENTABILIDAD DE UNA VIVIENDA CON PRINCIPIOS BIOCLIMÁTICOS Y UNA CONVENCIONAL, EN UN CLIMA SEMIFRÍO SECO

CASO DE ESTUDIO: VIVIENDAS DE LA CIUDAD DE GUADALUPE, ZACATECAS

Ana Julieta Acuña Valerio

Tesis para optar por el grado de Maestra en Diseño

Línea de investigación:

Ahorro y uso eficiente de energía en edificaciones

Miembros del Jurado:

Dr. Rubén Dorantes Rodríguez

Director de tesis

Dra. Gabriela Álvarez García

Dr. Víctor Fuentes Freixanet

Dra. Esperanza García López

Mtra. Verónica Huerta Velázquez

Dr. José Diego Morales Ramírez

México, D.F.

Junio 2009

Con todo cariño a mi familia: a mis padres Jorge y María del Rosario, a mis hermanos Jorge y Jesús, a Reyna. Gracias por su cariño, ejemplo, confianza y apoyo.

A la familia Martínez Fisher, por su cariño y hospitalidad.

A mi novio Carlos con todo mi amor, por su apoyo personal y profesional. Por enseñarme con amor y actitud, que poco a poco se construyen grandes cosas.

A la memoria de mi primo José Manuel Salinas Acuña y mi tío Antonio Salinas Felguérez.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a las personas e instituciones que aportaron algo para esta investigación, ya sea material o intelectualmente. Valoro el tiempo dedicado a este proyecto; en la mayoría de las personas de quienes solicité apoyo encontré un gesto amable, lo cual me compromete con la sociedad a retribuir lo que de ella recibí:

A CONACYT por la beca otorgada para realizar estos estudios.

A la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco por darme la oportunidad de estudiar una maestría; a mis maestros, por la generosidad con que compartieron sus conocimientos, experiencia y calidad humana; a todo el personal del posgrado.

A mi tutor: Dr. Rubén Dorantes Rodríguez por su asesoría, tiempo, apoyo e interés, para la elaboración de esta tesis.

A mis sinodales: Dra. Gabriela Álvarez García, Dr. Víctor Fuentes Freixanet, Dra. Esperanza García López, Mtra. Verónica Huerta Velázquez y Dr. José Diego Morales Ramírez. Por la disposición y entusiasmo con que accedieron a formar parte de este proyecto.

A las familias Correa Larios y Acuña Valerio, a la señora Ana María Pérez Compean. Por permitirme interferir en su vida diaria durante varios meses para llevar a cabo esta investigación en sus viviendas.

Al Profesor Jesús Arturo Mota del Área de Instrumentación del Departamento de Electrónica de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

A la Arq. Claudia Anaid Cárdenas Cisneros de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Al M.C. Amílcar Fuentes Toledo del Centro de Investigación en Energía de la UNAM.

Al M.C. Humberto González Bravo de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco.

Al Dr. Héctor Velázquez Fernández y a la Lic. Guadalupe Martínez Fisher de la Universidad Panamericana, al M.C. Jorge Acuña del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”, al Ing. Eduardo González Valerio de la Comisión Federal de Electricidad y al Ing. Enrique Acuña Arteaga.

Al equipo de mediciones e instalación: Arq. Javier Cuevas, Arq. Miriam Arauza, M.C.D. Jorge Acuña, Rosario Valerio, Ing. Gerardo Acuña, Arq. Olivia Correa y Arq. Carlos Rojero.

A quienes que me facilitaron equipo o material para enriquecer esta investigación, en especial: al Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la UAM-A, al Centro de Investigación en Energía de la UNAM, Dr. Rubén Dorantes, Ing. José Luis García Tavera, Dr. Víctor Fuentes, Arq. Guillermo Corro, Arq. Alejandro Díaz Báez y Arq. Rafael Zuviet.

A la CNA, estación Guadalupe Zacatecas, y al SMN por permitirme el acceso a sus datos. En especial al Ing. Humberto Díaz y al Ing. Cuauhtémoc Torres.

A mis compañeros y amigos bioclimáticos: César del Pozo, Javier Cuevas, Francisco Ramírez, Elisa Garay, Alejandro Díaz, Víctor Rodríguez, Andrea Fernández y Miriam Arauza.

SINÓPSIS

El propósito de esta tesis fue comprobar cualitativa y experimentalmente, si la operación de una vivienda diseñada con ciertos criterios bioclimáticos presenta mejor desempeño que una vivienda convencional con respecto a confort higrotérmico, eficiencia energética y rentabilidad económica. Lo anterior se realizó con base en un ejercicio de comparación en el que se evaluaron los niveles de confort de dos viviendas de la ciudad de Guadalupe, Zacatecas: una de ellas se consideró como “vivienda con principios bioclimáticos” y la otra como una vivienda “convencional”. En el monitoreo se evaluaron constantemente y durante nueve meses las dos viviendas. Los parámetros interiores considerados fueron temperatura ambiente, humedad relativa e iluminancia, sin embargo se recuperaron datos exteriores de temperatura, humedad, radiación solar, viento.

Otro de los mecanismos de evaluación fue la aplicación del anteproyecto de NOM-020 para estimar la eficiencia energética de las viviendas así como una auditoría energética para analizar los consumos eléctricos por climatización dentro de las mismas. De acuerdo con los resultados del anteproyecto de norma se plantearon algunas modificaciones a los casos de estudio, mismos que se valoraron como costos de inversión y se contrastaron con los costos de operación que se determinaron con la auditoría energética. Lo anterior permitió realizar un análisis de costo beneficio de algunas medidas que pudieran mejorar el confort higrotérmico de ambas viviendas.

Como resultado, se obtuvo un mejor desempeño por parte de la vivienda con principios bioclimáticos tanto en el monitoreo ambiental como en la aplicación de la normatividad. Al cotejar los resultados y el análisis económico, se demuestra al final de esta tesis que la aplicación de la arquitectura bioclimática resulta rentable. También los resultados permiten establecer que la construcción de viviendas en los municipios de Guadalupe y Zacatecas puede alcanzar buenos niveles de confort higrotérmico y lumínico a lo largo de todo el año, si se considera el diseño bioclimático. Sin embargo, este trabajo también muestra cómo es posible mejorar este confort en viviendas convencionales con inversiones rentables.

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to verify qualitatively and experimentally, if the operation of a house designed with some bioclimatic criteria presents better performance than a conventional house considering hygrothermal comfort, energy efficiency and economic profitability. This was carried out based on an exercise of comparison in which the levels of comfort of two dwellings of the city of Guadalupe, Zacatecas were evaluated: one of them was considered as a "dwelling with bioclimatic principles" and the other as a "conventional" dwelling. During the monitoring both houses were evaluated constantly, it lasted nine months. Monitored interior parameters were temperature, relative humidity and luminance, nevertheless they were recuperated exterior data of temperature, humidity, solar radiation, wind.

Another evaluation way was the application of the draft of standard 020 to estimate the dwelling's energy efficiency, as well as an energy audit to analyze the electrical consumption by air conditioning inside them. According to the results of the standard draft some modifications were done to the cases of study, these were considered as investment costs and they were contrasted with the operation costs that were determined with the energy audit. This permitted to carry out a benefit cost analysis of some measures that they could improve the thermal comfort of both houses.

The obtained result was a better performance by the dwelling with bioclimatic principles as much as in the environmental monitoring as in the application of the standard. Once you compare the results and the economic analysis, it is shown at the end of this thesis, that the application of bioclimatic architecture is profitable. Also the results allow us to establish that the construction of dwellings in the municipalities of Guadalupe and Zacatecas may reach good levels of hygrothermal and luminic comfort throughout the year, if considering in bioclimatic design. Nevertheless this work also shows how it is possible to improve comfort in conventional dwellings with profitable investments.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN

I. Planteamiento del problema	1
I.I. Objetivo general	6
I.II. Objetivos específicos.....	6
I.III. Justificación.....	6
II. Metodología	8
III. Descripción de la tesis.....	9

Capítulo 1. ANTECEDENTES

1.1 Arquitectura.....	12
1.2 Arquitectura bioclimática.....	18
1.2.1 Confort	19
1.2.1.1 Confort térmico	20
1.2.1.2 Confort higrométrico	23
1.2.1.3 Confort lumínico.....	23
1.2.2 Eficiencia energética.....	24
1.2.2.1 Climatización pasiva	26
1.2.2.2 Iluminación natural	26
1.2.3 Experimentos y análisis relacionados	27

Capítulo 2. SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

2.1 Selección de clima	32
2.1.1 Definición de clima	32

2.1.2 Clasificación climática.....	33
2.1.3 Selección de clima semifrío seco.....	34
2.1.4 Justificación de la selección del clima.....	35
2.2 Selección de lugar. Ciudad de Guadalupe, Zacatecas.....	35
2.3 Caracterización climática de la ciudad de Guadalupe, Zacatecas.....	38
2.3.1 Factores del clima.....	38
2.3.1.1 Localización.....	38
2.3.1.2 Latitud.....	38
2.3.1.3 Longitud.....	39
2.3.1.4 Altitud.....	39
2.3.1.5 Relieve.....	39
2.3.1.6 Vegetación.....	40
2.3.2 Elementos del clima, ciudad de Guadalupe.....	40
2.3.2.1 Temperatura.....	41
2.3.2.2 Humedad relativa.....	42
2.3.2.3 Precipitación pluvial.....	43
2.3.2.4 Radiación solar.....	44
2.3.2.5 Viento.....	44
2.3.3 Definición de las principales estrategias de diseño.....	47
2.3.3.1 Carta bioclimática.....	47
2.3.3.2 Carta psicrométrica.....	49
2.3.3.3 Triángulos de confort.....	50
2.3.3.4 Temperatura efectiva corregida.....	51
2.3.3.5 Indicadores de Mahoney.....	52
2.3.3.6 Análisis horario. Temperatura y humedad relativa.....	53
2.3.3.7 Estrategias de diseño bioclimático.....	55
2.3.3.8 Principios bioclimáticos.....	55
2.4 Criterios de comparación de los casos de estudio.....	56
2.4.1 Comparación.....	56
2.4.2 Justificación de la comparación de los casos de estudio.....	57
2.5 Selección de los casos de estudio.....	60
2.5.1 Localización viviendas A y B.....	62
2.5.2 Caracterización vivienda A: Principios bioclimáticos.....	63
2.5.2.1 Orientación.....	63
2.5.2.2 Control solar.....	64
2.5.2.3 Materiales y sistemas de construcción.....	65
2.5.3 Caracterización vivienda B: Convencional.....	66
2.5.3.1 Orientación.....	66
2.5.3.2 Control solar.....	67
2.5.3.3 Materiales y sistemas de construcción.....	67
2.5.4 Tabla comparativa casa A y B.....	68
2.5.5 Planos arquitectónicos de los casos de estudio.....	69

Capítulo 3. ANÁLISIS EXPERIMENTAL

3.1 Instrumentación.....	75
3.1.1 Digital.....	75
3.1.1.1 Estación UAM.....	75
3.1.1.2 Estación CNA.....	76
3.1.1.3 Termohigrómetros.....	77
3.1.1.4 Termómetros de máximas y mínimas.....	78
3.1.1.5 Medidor de temperatura, humedad y flujo de aire.....	79
3.1.1.6 Termómetro de infrarrojo.....	79
3.1.1.7 Luxómetro.....	79
3.1.2 Analógica.....	80
3.1.2.1 Termohigrógrafos.....	80
3.2 Calibración de instrumentos.....	82
3.2.1 Instrumentación digital.....	82
3.2.2 Instrumentación analógica.....	83
3.3 Instalación de equipo.....	84
3.3.1 Instrumentación casa A.....	86
3.3.2 Instrumentación casa B.....	86
3.4 Desarrollo del experimento.....	88
3.5 Presentación y análisis de resultados.....	89
3.5.1 Digitalización.....	89
3.5.2 Organización.....	91
3.5.3 Presentación y análisis.....	93

Capítulo 4. DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

4.1 Evaluación de eficiencia energética. Anteproyecto de NOM-020-ENER.....	121
4.1.1 Metodología.....	122
4.1.2 Vivienda A.....	123
4.1.2.1 Edificio de referencia A.....	124
4.1.2.2 Edificio proyectado A.....	125
4.1.2.3 Propuesta de modificación.....	128
4.1.3 Vivienda B.....	130
4.1.3.1 Edificio de referencia B.....	130
4.1.3.2 Edificio proyectado B.....	131
4.1.3.3 Modificaciones propuestas.....	134
4.2 Auditoría energética.....	137
4.2.1 Metodología.....	139
4.2.2 Vivienda A.....	140
4.2.3 Vivienda B.....	142

Capítulo 5. ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Costos de inversión	147
5.1.1 Vivienda A	148
5.1.2 Vivienda B	149
5.2 Costos de operación.....	151
5.2.1 Vivienda A	152
5.2.2 Vivienda B	152
5.3 Tabla de resumen	156
5.4 Análisis de costo-beneficio	157
5.4.1 Vivienda A	157
5.4.2 Vivienda B	158
CONCLUSIONES	162
REFERENCIAS	171
ANEXOS.....	176

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Metodología	8
Figura 2 Ejemplo de arquitectura vernácula	14
Figura 3 Crystal Palace, 1850-1851.....	15
Figura 4. La Casa de Cristal, Philip Johnson, 1941	16
Figura 5 Mapa ubicación de Guadalupe, Zacatecas.....	38
Figura 6 Carta Bioclimática, Guadalupe, Zacatecas (1971-2000)	48
Figura 7 Carta Psicrométrica, Guadalupe, Zac. (1971-2000)	50
Figura 8 Triángulos de confort (1971-2000).....	51
Figura 9 Temperatura efectiva corregida	52
Figura 10 Viviendas descartadas.....	60
Figura 11 Vivienda con principios bioclimáticos descartada	61
Figura 12 Localización de los dos casos de estudio	62
Figura 13 Vivienda con principios bioclimáticos "A"	63
Figura 14 Detalle de ventana	64
Figura 15 Control Solar vivienda A	64
Figura 16 Sección de muro, casa "A"	65
Figura 17 Sistema constructivo vigueta y bovedilla	66
Figura 18 Vivienda convencional "B"	67
Figura 19 Sección muro casa B	66
Figura 20 Estación UAM	76
Figura 21 Localización Estación CNA, casa A, casa B.	77
Figura 22 Termohigrómetros.....	78
Figura 23 Termómetros de máximas y mínimas.....	78
Figura 24 Anemómetro, termómetro infrarrojo y luxómetro	79
Figura 25 Termohigrógrafo	81
Figura 26 Limpieza y calibración de termohigrógrafos	83
Figura 27 Calibración termohigrógrafos (8 de junio 2007)	84
Figura 28 Ubicación de Equipo Casa A y casa B	85
Figura 29 Colocación Estación UAM, casa B	87
Figura 30 Digitalización de datos.....	90
Figura 31 Hoja de cálculo "concentrado". Base de datos octubre	92
Figura 32 Simbología de gráficas	97
Figura 33 Orientación vivienda A	124
Figura 34 Porciones 5 y 6. Muro A y Muro B	126
Figura 35 Caracterización volumétrica. Edificio proyectado "A"	127
Figura 36 Orientación vivienda B	130
Figura 37 Caracterización volumétrica. Edificio proyectado "B"	132
Figura 38 Partesoles sala 2	135
Gráfica 1 Porcentajes de bioclimas en la República Mexicana y en el estado de Zacatecas.	36
Gráfica 2 Población total, zona conurbada Zacatecas-Guadalupe. (INEGI, 2005).....	36
Gráfica 3 Resultados encuesta	37
Gráfica 4 Temperatura ambiente en Guadalupe.....	41
Gráfica 5 Oscilación térmica anual y mensual	42

Gráfica 6 Humedad Relativa.	42
Gráfica 7 Precipitación y evaporación.....	43
Gráfica 8 Índice ombrotérmico	43
Gráfica 9 Radiación solar en Guadalupe	44
Gráfica 10 Velocidad de viento en m/s, promedio mensual y anual	45
Gráfica 11 Frecuencia de viento	46
Gráfica 12 Porcentajes, datos horarios de temperatura y humedad.....	55
Gráfica 13 Carta Bioclimática y Carta Psicrométrica. Comparación: Normales con periodo de medición	94
Gráfica 14 Triángulos de Confort. Comparación: Normales 1971-2000 con periodo de medición	95
Gráfica 15 Comparación estación CNA-UAM	96
Gráfica 16 Temperatura. Junio 10-16, 2007	98
Gráfica 17 Retardo y amortiguamiento térmico vivienda B. Junio 19-22, 2007	99
Gráfica 18 Temperatura y humedad relativa. Agosto 24-31, 2007	99
Gráfica 19 Retardo térmico vivienda A y B. Agosto 22 y 23, 2007	100
Gráfica 20 Temperatura y humedad relativa. Septiembre 17-23, 2007	101
Gráfica 21 Temperatura (máxima y mínima). Septiembre 2007	102
Gráfica 22 Temperatura y humedad. Octubre 2007	103
Gráfica 23 Temperatura (máxima y mínima). Octubre 2007	103
Gráfica 24 Temperatura y Radiación solar. Octubre 25-30, 2007	104
Gráfica 25 Temperatura. Noviembre 1-8, 2007	105
Gráfica 26 Porcentajes de confort térmico. Noviembre 2007	106
Gráfica 27 Temperatura (máxima y mínima). Noviembre 2007	107
Gráfica 28 Iluminancia Casa A y Casa B. Noviembre 2007	107
Gráfica 29 Temperatura y humedad relativa. Diciembre 1-8, 2007	109
Gráfica 30 Temperatura (máxima y mínima). Diciembre 2007	109
Gráfica 31 Temperatura y Radiación solar. Diciembre 18-20, 2007	110
Gráfica 32 Temperatura y Radiación solar. Diciembre 27-29, 2007	111
Gráfica 33 Porcentajes de confort térmico. Diciembre 2007	112
Gráfica 34 Temperatura superficial exterior cubierta casa B. 31 de diciembre de 2007	113
Gráfica 35 Temperatura y humedad relativa. Enero 9-16, 2008	114
Gráfica 36 Temperatura (máxima y mínima). Enero 2008	115
Gráfica 37 Temperatura y Radiación solar. Enero 3-5, 2008	116
Gráfica 38 Temperatura y Radiación solar. Enero 26-29, 2008	116
Gráfica 39 Porcentajes de confort térmico. Enero 2008	117
Gráfica 40 Porcentajes de confort. Noviembre 2007-Enero 2008	117
Gráfica 41 Iluminancia Casa A y Casa B. Enero, Febrero 2008	118
Gráfica 42 Temperatura y humedad relativa. Febrero 17-23, 2008	119
Gráfica 43 Temperatura (máxima y mínima). Febrero 2008	119
Gráfica 44 Ganancias de calor por conducción y radiación. Vivienda A.....	129
Gráfica 45 Ganancias de calor por conducción y radiación. Vivienda B.....	136
Gráfica 46 Comparación de orientación. Edificio proyectado "B"	137
Gráfica 47 Consumo de energía eléctrica en la vivienda. CFE	138
Gráfica 48 Consumo de energía en la vivienda. CONAE	139
Gráfica 49 Consumo eléctrico vivienda A. 2007 a 2008	140
Gráfica 50 Consumo eléctrico vivienda B. Agosto 2006 a enero 2008	142
Gráfica 51 Temperatura con climatización recámara 2. Diciembre 2007	145
Gráfica 52 Temperatura con climatización recámara 2. Febrero 2008	145
Gráfica 53 Relación ganancias de calor de: situación actual y propuesta, con costo de inversión	151
Gráfica 54 Porcentajes de costo-beneficio. Vivienda B	160
Gráfica 55 Temperatura y humedad relativa mensual. Junio 2007	177
Gráfica 56 Temperatura y humedad relativa mensual. Julio 2007	178
Gráfica 57 Temperatura y humedad relativa mensual. Agosto 2007	179
Gráfica 58 Temperatura y humedad relativa mensual. Septiembre 2007	180
Gráfica 59 Temperatura y humedad relativa mensual. Octubre 2007	181
Gráfica 60 Temperatura y humedad relativa mensual. Noviembre 2007	182
Gráfica 61 Temperatura y humedad relativa mensual. Diciembre 2007	183

Gráfica 62 Temperatura y humedad relativa mensual. Enero 2008	184
Gráfica 63 Temperatura y humedad relativa mensual. Febrero 2008	185
Tabla 1 Variables del confort higrotérmico.....	22
Tabla 2 Elementos y factores del clima	33
Tabla 3 Clasificación bioclimática	34
Tabla 4 Datos climáticos Guadalupe, Zacatecas (1971-2000)	40
Tabla 5 Datos de viento: dirección, frecuencia y velocidad	45
Tabla 6 Indicadores de Mahoney.....	53
Tabla 7 Análisis horario de temperatura	54
Tabla 8 Análisis horario de humedad relativa	54
Tabla 9 Criterios de comparación de los casos de estudio.....	58
Tabla 10 Vivienda A y B.....	68
Tabla 11 Especificaciones instrumentación digital.....	80
Tabla 12 Especificaciones instrumentación analógica.....	82
Tabla 13 Contenido de Bases de datos	91
Tabla 14 Temperatura y humedad relativa. Comparación: Normales con periodo de medición	93
Tabla 15 Edificio de referencia "A". Ganancia por conducción (partes opacas y transparentes)	124
Tabla 16 Edificio de referencia "A". Ganancia por radiación (partes transparentes)	125
Tabla 17 Coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente A	126
Tabla 18 Edificio proyectado "A". Ganancia por conducción (partes opacas y transparentes)	128
Tabla 19 Edificio proyectado "A". Ganancia por radiación (partes transparentes)	128
Tabla 20 Resumen de cálculo con modificación propuesta. Vivienda A.....	129
Tabla 21 Edificio de referencia "B". Ganancia por conducción (partes opacas y transparentes)	130
Tabla 22 Edificio de referencia "B". Ganancia por radiación (partes transparentes)	131
Tabla 23 Coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente B	131
Tabla 24 Edificio proyectado "B". Ganancia por conducción (partes opacas y transparentes)	133
Tabla 25 Edificio proyectado "B". Ganancia por radiación (partes transparentes)	133
Tabla 26 Partesoles sala 2.....	135
Tabla 27 Resumen de cálculo con modificación propuesta. Vivienda A.....	136
Tabla 28 Comparación de orientación. Edificio proyectado "B"	137
Tabla 29 Resumen de auditoría energética vivienda A	141
Tabla 30 Auditoría energética vivienda B. Periodo marzo 2007 a octubre 2007	143
Tabla 31 Auditoría energética vivienda B. Periodo noviembre 2007 a febrero 2008.....	143
Tabla 32 Ejemplo de registro de climatización.....	144
Tabla 33 Costos de inversión. Vivienda A	148
Tabla 34 Costos de inversión. Vivienda B	149
Tabla 35 Costos de inversión cancelaría doble. Vivienda B	150
Tabla 36 Comparación de consumo eléctrico anual por climatización, recámara 1 y 2	153
Tabla 37 Extrapolación de consumo vivienda A	155
Tabla 38 Extrapolación de consumo vivienda B	155
Tabla 39 Resumen eficiencia energética y análisis económico.....	156
Tabla 40 Análisis de costo-beneficio. Vivienda A	154
Tabla 41 Análisis de costo-beneficio. Vivienda B	159
Tabla 42 Impacto ambiental por climatización artificial. Vivienda B.....	161
Tabla 43 Auditoría energética vivienda A	186
Tabla 44 Auditoría energética vivienda B. Periodo marzo a octubre	187
Tabla 45 Auditoría energética vivienda B. Periodo noviembre a febrero.....	188
Plano A1 Plantas arquitectónicas vivienda A.....	69
Plano A2 Cortes y fachadas vivienda A	70
Plano A3 Corte por fachada vivienda A	71
Plano A4 Plantas arquitectónicas vivienda B.....	72
Plano A5 Cortes y fachadas vivienda B	73
Plano A6 Corte por fachada vivienda B	74

INTRODUCCIÓN

El objetivo general de esta tesis fue comprobar cualitativa y experimentalmente, por medio de un ejercicio comparativo, si la operación de una vivienda diseñada con ciertos principios bioclimáticos presenta mejor desempeño que una vivienda convencional, con respecto a confort higrotérmico, eficiencia energética y rentabilidad económica, al tener menores costos de operación así como menor costo ambiental.

Como primera parte de esta tesis, se mencionan las ideas que originaron este trabajo, así como los principales intereses, propósitos y alcances del mismo. En los siguientes párrafos se describe la problemática a abordar, se incluyen los objetivos y la justificación, los cuales son dos elementos sugeridos para plantear un problema de investigación (Hernández S., Fernández, & Baptista, 2003). Finalmente se comenta el desarrollo de la tesis desde dos perspectivas: la metodología empleada y el contenido central de cada capítulo.

I. Planteamiento del problema

Una de las ideas con la que surge esta tesis es que el diseño arquitectónico establece en su nivel de anteproyecto las condiciones interiores de un espacio, es decir que esboza de manera general en los primeros trazos el asoleamiento que se tendrá, la calidad de la iluminación natural, el funcionamiento de la ventilación y como consecuencia, su capacidad para obtener condiciones de confort de manera natural, con el mínimo consumo de energía fósil. La idea anterior refleja la importancia que tiene considerar las características del clima dentro del diseño arquitectónico ya sea para aprovecharlas o protegerse de ellas según la época del año y/o el clima en cuestión.

Las decisiones tomadas durante el proceso de diseño son determinantes debido a que existe relación directa entre diseño arquitectónico, confort ambiental y eficiencia energética¹. La demanda de energía de una edificación está estrechamente ligada a soluciones importantes relacionadas principalmente con las características de su envolvente, misma que se define en las primeras fases del proyecto (GonCalves, Camelo, Germano, Romero, & Dilonard, 1999); de acuerdo a ello, los aspectos afines a lo térmico y energético deben tomarse en cuenta al principio del proyecto con la misma importancia que se da a otros factores de la construcción.

Se sabe que “cuanto más apropiados sean los diseños propuestos, menor será la carga energética para calentar o enfriar los espacios” (Hernández T., 1991, p. 27). En la actualidad, es común que la deficiencia de diseño se compense con mecanismos artificiales que apoyan a las edificaciones, en mayor o menor proporción, en la búsqueda de condiciones de confort. Al hacer referencia únicamente a la parte de confort térmico y confort lumínico, términos que se abordarán en el primer capítulo, se pone en evidencia que hoy en día la falta de confort se contrarresta o “resuelve” con medios artificiales, los cuales entre muy diversas consecuencias, alteran la economía de los usuarios, contaminan el medio ambiente aumentando el calentamiento global y contribuyendo con el agotamiento de los combustibles fósiles, lo que a su vez afecta la salud de las personas.

A lo largo de los últimos años, generalmente por modas y tendencias, se han ido olvidando las variables ambientales dentro del diseño arquitectónico. El diseño consciente y con lógica ambiental ha ido pasando a un segundo plano; en ocasiones desde la etapa de formación de los arquitectos, las variables ambientales no reciben la atención necesaria. En consecuencia, hoy día se observa que “en la construcción de nuestras casas y edificios se ha olvidado tomar en cuenta la ubicación del Sol, cómo iluminarlos, cómo ventilarlos adecuadamente, cómo calentarlos cuando hace frío, o refrescarlos en tiempo de calor” (Rodríguez V., 2001, p. 9); actualmente es común ver que se construyen las mismas tipologías arquitectónicas en cualquier parte y clima del país cuando son justamente éstas las que deben identificar a una región.

Como se ha visto el diseño arquitectónico impacta, entre otras cosas, en el costo de operación de una edificación. Es preciso mencionar que “cerca de 50% de la energía comercial del planeta

¹ En este trabajo se hablará de eficiencia energética de acuerdo con los criterios del Anteproyecto de NOM-020: se refiere al diseño térmico de edificios con el fin de lograr condiciones de confort con el mínimo consumo de energía fósil, en ese sentido una edificación es eficiente o ineficiente energéticamente.

se consume en los diversos géneros de edificios” (García & Fuentes, 2000, p. 14) al considerar sus etapas de construcción, mantenimiento y operación.

Así mismo, el consumo de energía en la vivienda constituye una parte importante de la demanda energética anual en el país; de acuerdo con los datos del Balance Nacional de Energía, en el año 2006 el subsector residencial dispuso de casi el 16% del consumo final total. Porcentajes considerables de dicho consumo, se utilizan en la búsqueda de confort térmico y lumínico, mismos que se relacionan estrechamente con el tipo de clima y el periodo del año, ya que en los meses de condiciones climáticas más desfavorables se incrementa la demanda final de energía: en datos emitidos por la Comisión Nacional para el ahorro de Energía (CONAE, 2008) se observa que el mayor consumo de energía en los hogares es para acondicionamiento térmico, es decir equipos de calefacción y aire acondicionado.

La Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) en su guía de “Uso eficiente de la energía en la vivienda” señala que el consumo energético se eleva en aquellas viviendas en las que existe necesidad de climatizar artificialmente el ambiente interior, ocupando el rubro de climatización junto con electrodomésticos, el tercer lugar promedio del país (CONAFOVI, 2006), lo cual depende principalmente de tres factores: el clima del lugar, la inadecuada tecnología utilizada en la construcción y en la operación, y el diseño deficiente de la vivienda.

Si además del consumo energético ocasionado por las deficiencias de diseño arquitectónico, se agregaran las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) que esto provoca, se conocería el impacto negativo de una edificación hacia el medio ambiente, así como su afectación en el calentamiento global y la aceleración en la modificación de los microclimas de las ciudades, pues el uso de energía eléctrica y térmica está directamente ligado a diversos impactos ambientales provocando riesgos a la salud y a la calidad de vida (Rosas & Morillón, 2006). Se conoce que las emisiones de CO_2 , al alterar la composición del aire, provocan daño a la salud de las personas; en ese sentido se estaría hablando de la afectación a los usuarios de manera indirecta por las deficiencias de diseño de las edificaciones.

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, las concentraciones en la atmósfera de gases de efecto invernadero han aumentado notablemente por la actividad humana, registrándose en la década de los 90 los niveles más elevados (IPCC, 2002). En una entrevista Gabriel Quadri (2009) sostuvo que México, frente al acuerdo del protocolo de Kioto,

en los próximos 3 años deberá hacer un esfuerzo y un compromiso para reducir sus emisiones, lo que implica una verdadera reforma energética, así como un replanteamiento de las tendencias de consumo y producción dentro del país.

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), en un informe de 2008 cuantificó el impacto ambiental de las edificaciones en el país, y sostiene que son responsables del 17% del consumo total de energía, el 5% del consumo total de agua, el 25% del consumo total de electricidad, el 20% de las emisiones de CO₂ y el 20% de los desechos generados (p. 23); al observar estos números se advierte un campo de oportunidades para aplicar criterios sustentables en las edificaciones y reducir considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero lo cual, según dicho informe, también mejoraría la calidad del aire en interiores y exteriores, favorecería el bienestar social y aumentaría la seguridad energética.

Otra de las afectaciones de los diseños arquitectónicos inadecuados es directamente a la salud de los usuarios, por ejemplo: en 1982 la Organización Mundial de la Salud (OMS) definió el “síndrome de edificio enfermo” que se caracteriza por síntomas recurrentes en los usuarios como dolor de cabeza, letargo y resfriados (Pérez, Salomón, & Lazcano, 2000); así mismo, en 1983 la OMS emitió un informe donde se señala que el 73% de las enfermedades de vías respiratorias se debe a diseños inadecuados de las edificaciones (Fuentes, 2004, p. 18). Con lo anterior se pone en evidencia la estrecha relación que existe entre la salud de las personas y las condiciones ambientales del lugar en el que viven.

Dentro del problema a abordar, se pensó también en el tema del petróleo, que es indudablemente materia prima no sólo de nuestro país sino del mundo: en 2005 el petróleo constituyó el 59% de la energía primaria que se produjo en México (Vega, et al., 2008). Existen diversas opiniones sobre la disponibilidad del petróleo crudo, en las que se sostiene que restan pocos años de este recurso, razón por la cual en el país es indispensable generar una conciencia ecológica dentro de la población que invite a hacer un uso más eficiente de este recurso: al comparar un artículo de 1984 con la situación energética actual del país (Hernández, H., et al., 1984), preocupantemente se observa que existe la misma inquietud de hace más de 20 años por hacer un uso más racional de los recursos energéticos, sin embargo la dependencia casi absoluta de los hidrocarburos era la misma que la actual, es decir que después de varios años, la desmedida explotación y dependencia de los recursos no renovables ha ido en aumento.

De acuerdo con la SENER, el consumo de energía por habitante registró en 2006 un valor de 75.9 millones de kilojoules, lo que representó un 1.0% mayor al observado en 2005, cabe mencionar que en 2006 se presentó el consumo de energía por habitante más elevado desde 1965 lo cual es reflejo de la clara tendencia social al abuso de los recursos energéticos.

Hoy por hoy, uno de los pilares fundamentales de la sustentabilidad radica en la disponibilidad energética de cada individuo, cada comunidad y cada país (Dorantes, 2006), por lo que frente al comienzo de la escasez de recursos no renovables, se debe buscar la racionalización de los mismos; de acuerdo a ello, fue necesario buscar nuevas opciones de desarrollo como el Programa 21, de las Naciones Unidas, en el que se define el desarrollo sustentable como aquel que *satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras para satisfacer las propias* (United Nations, 2003), sin embargo como se observa, la falta de conciencia con que se ha dispuesto de los recursos naturales ha llegado al extremo de no sólo comprometer los recursos del futuro sino también los del presente, ocasionando un desequilibrio ecológico que demanda soluciones multidisciplinarias.

A partir de la década de los 90's, es decir 20 años después que en otros países, en México se han venido haciendo diversos esfuerzos por redireccionar las costumbres de uso de la sociedad con respecto a la conciencia ecológica. Actualmente los temas "verdes" son temas de interés y repentinamente se han ido aceptando esta clase de términos aunque sea nuevamente, en ocasiones, por modas y tendencias: la idea de "volver las cosas sustentables" requiere de un análisis de origen puesto que se abusa del término para efectos de mercadotecnia.

Con respecto al tema de vivienda, se sabe que actualmente el sector residencial tiene gran demanda en el nivel nacional. No obstante el rápido crecimiento y construcción de los fraccionamientos, en la mayoría de ellos no se consideran muchos aspectos determinantes del confort debido a que generalmente ha existido mayor preocupación por la cantidad de vivienda y no por la calidad de ésta. En México, se ha dado mayor importancia a la parte económica y no a la de confort; consecuentemente se presta más atención al clima que representa mayor consumo de energía dentro del país (clima cálido); sin embargo, si realmente se considerara que la mayoría de los hombres pasan gran parte de su vida en la casa (Coppola, 2004) se daría mayor peso al confort ambiental que ofrece una vivienda cualquiera que sea el clima en que esta se sitúe.

I.I Objetivo general

Comprobar cualitativa y experimentalmente, por medio de un ejercicio comparativo, si la operación de una vivienda diseñada con ciertos criterios bioclimáticos presenta mejor desempeño que una vivienda convencional con respecto a confort higrotérmico, eficiencia energética y rentabilidad económica, al tener menores costos de operación así como menor costo ambiental.

I.II Objetivos específicos

1. Evaluar térmica y lumínicamente una vivienda con principios bioclimáticos y una vivienda convencional con la finalidad de establecer una comparación entre ellas.
2. Analizar el consumo energético total y mensual en los casos de estudio a partir de la metodología de Auditoría Energética.
3. Evaluar la eficiencia energética de los casos de estudio bajo los criterios establecidos por el anteproyecto de Norma Oficial Mexicana (NOM) 020-ENER, "Eficiencia energética en las edificaciones, envolvente de edificios residenciales" y elaborar las respectivas propuestas para lograr o mejorar el cumplimiento de la misma.
4. Establecer la rentabilidad económica de los casos de estudio a partir del análisis cuantitativo y experimental.
5. Proponer soluciones bioclimáticas que permitan mejorar el confort higrotérmico, el confort lumínico y la eficiencia energética de las viviendas de la zona.

I.III Justificación

En México, la vivienda constituye una de las principales inversiones de los gobiernos federal, estatal y municipal, de tal manera que durante los últimos años se ha mantenido un ritmo anual de financiamiento para la construcción de 750,000 viviendas (CONAFOVI, 2005). La Comisión Nacional de la Vivienda, de acuerdo con el índice de crecimiento poblacional, estima que en los próximos 30 años, el número de viviendas aumentará en más de 20 millones, es decir, la vivienda crecerá 88.5%. Sin embargo, gran parte de las viviendas surgen como prototipos que se utilizan para cualquier lugar del país con condiciones que no responden a las características del clima donde se sitúan, lo cual sólo es una solución aparente a la creciente demanda de

vivienda, ya que trae consigo otro tipo de complicaciones que repercuten en el confort, economía y salud de quienes las habitan.

Promover el desarrollo de viviendas sustentables a partir de propuestas bioclimáticas es una necesidad actual que podría beneficiar al usuario y al medio ambiente, a través de edificaciones confortables que climaticen de manera pasiva su ambiente interior; sin embargo, es necesario contar con ejemplos demostrativos y análisis comparativos que justifiquen la mayor eficiencia energética y la rentabilidad de la vivienda bioclimática con respecto a la vivienda convencional, además de demostrar en qué magnitud, las primera tiene un menor impacto negativo hacia el medio ambiente. El impulso de viviendas confortables y energéticamente eficientes, tendría gran repercusión en la economía familiar y también en la economía regional, debido a la demanda actual de vivienda y a las perspectivas de crecimiento para el futuro.

En México, la extensión territorial clasificada como clima frío es poca con relación a la de clima cálido o templado, no obstante el primero debe ser objeto de estudio puesto que el enfriamiento interior de los espacios no permite, en muchas ocasiones, alcanzar niveles de confort higrotérmico de los usuarios, lo que generalmente tiene un impacto energético provocado por el acondicionamiento artificial.

Un ejemplo representativo en el que existe gran extensión territorial con clima semifrío, es el estado de Zacatecas, dentro del cual la ciudad de Guadalupe, tiene un bioclima² semifrío seco en el que la temperatura media anual se encuentra prácticamente todo el año por debajo del límite inferior del rango de confort. Lo anterior repercute en el gasto energético de la mayoría de las viviendas de esta zona, que al no contar con diseños adecuados de acondicionamiento térmico, sufren de enfriamiento interior teniendo que recurrir a la utilización de equipos de calefacción como calentadores de gas y eléctricos durante varios meses para alcanzar temperaturas más confortables.

² El término bioclima implica la relación de afectación del clima hacia los seres vivos. El bioclima semifrío seco forma parte de una clasificación bioclimática que se verá en el segundo capítulo.

II. Metodología

La problemática abordada anteriormente fue el punto de partida para esta investigación, misma que posteriormente llevó a la formulación de la siguiente hipótesis:

“En la ciudad de Guadalupe, Zacatecas, la cual tiene un bioclima semifrío-seco, se pueden lograr niveles de confort higrotérmico de manera pasiva en la vivienda por medio de la aplicación de estrategias de diseño bioclimático, lo cual representaría mayor eficiencia energética y consecuentemente ahorro económico”.

A partir de lo anterior, se estructuró la investigación con la metodología descrita de manera gráfica en la figura 1, en la que se observa que desde el principio de esta tesis y como se vio en los objetivos específicos se priorizó el desarrollo de un análisis experimental comparativo.

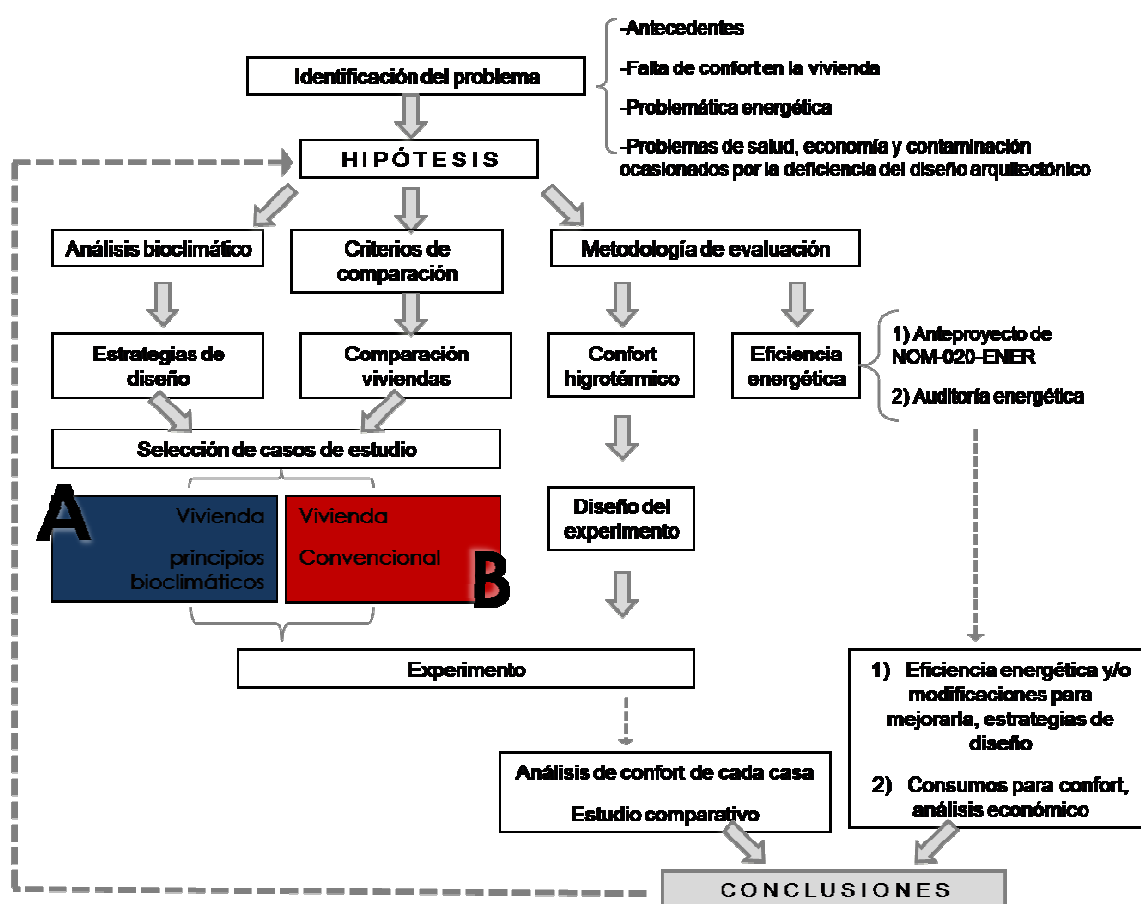


Figura 1. Metodología

De acuerdo con el análisis bioclimático y los criterios de comparación, se seleccionaron las dos viviendas a monitorear. A partir de la metodología de evaluación y el desarrollo de la misma, se diseñó y realizó el experimento, se analizaron los resultados en términos de confort de los usuarios y con un objetivo de comparación, junto con los resultados del anteproyecto de NOM-020 en función de eficiencia energética y estrategias de diseño, así como de los consumos energéticos para obtener confort térmico. Con todo lo anterior se llegó a las conclusiones que durante el desarrollo de la investigación, buscaron afirmar o refutar la hipótesis planteada.

III. Descripción de la tesis

Las ideas anteriores junto con los objetivos descritos, se abordaron en cinco capítulos, cuyo contenido se describe brevemente en los siguientes párrafos.

El capítulo 1, al cual se le dio el nombre de “Antecedentes” tiene como objetivo presentar las referencias de esta investigación; en él se incluyen conceptos generales sobre arquitectura y conceptos más específicos sobre arquitectura bioclimática abarcando los principales autores de la misma. En este capítulo se integran algunos ejercicios experimentales desarrollados en el país durante los últimos años, los cuales están relacionados con esta investigación por lo que se tomaron como referencia.

En el capítulo 2, cuyo título es “Selección y descripción de los casos de estudio”, se parte de aspectos generales y afines como el clima y el lugar de estudio, hasta aspectos particulares de cada una de las viviendas: definido el clima a abordar, se hizo la justificación del sitio elegido y se realizó un análisis bioclimático de la ciudad de Guadalupe, Zacatecas; a partir de ello se determinaron las principales estrategias de diseño, mismas que sirvieron como indicio de la búsqueda de las dos viviendas que se tomarían como casos de estudio. Dentro del capítulo se describen brevemente los criterios que se consideraron para llevar a cabo la comparación de las viviendas seleccionadas, finalmente se presenta la caracterización de las mismas.

En este trabajo, la comparación es un tema de gran importancia, debido a que ayudó en el análisis de ambas viviendas a entender el funcionamiento de una y otra. Se buscaron diversas maneras de llevar a cabo dicha comparación, por lo que se incluyen algunas de ellas para justificar el que esta investigación haya tenido como parte medular un ejercicio comparativo.

El capítulo 3 es la parte principal de esta tesis, se le dio el nombre de “Análisis experimental”, debido a que en él se hace la descripción del experimento realizado. En dicho capítulo se abordan aspectos previos al desarrollo del experimento como el equipo de medición utilizado y la calibración del mismo. Se exponen los objetivos del experimento y la manera en que éste se llevó a cabo.

Cabe mencionar que para este experimento se abarcó, en la medida de lo posible, el periodo cálido y el frío, finalmente se monitorearon 278 días de manera continua por lo que la organización y presentación de los resultados fue una parte significativa de esta tesis, la cual es descrita con detalle en dicho capítulo. Así mismo, se dedican varias páginas de esta tesis a la presentación y análisis de los datos obtenidos. La idea de realizar dicho experimento responde a la inquietud de evaluar dos viviendas en funcionamiento real, es decir en condiciones reales y no simuladas, ni ambientes controlados como los que se tendrían en un laboratorio, aspectos que se consideran de suma importancia, sin embargo quedaron fuera de los alcances y objetivos de esta tesis.

En el capítulo 4, denominado “Diagnóstico Energético”, se evaluó la eficiencia energética de los casos de estudio comparando de las viviendas contra sí mismas, bajo las condicionantes establecidas por el anteproyecto de NOM-020, y posteriormente entre ellas. De acuerdo a los resultados del anteproyecto se proponen y evalúan modificaciones para cada vivienda, mismas con las que se determinan los costos de inversión. El anteproyecto de norma se utilizó con la intención de cuantificar de manera sencilla, el funcionamiento de posibles modificaciones que se plantearon para cada uno de los casos de estudio. Se expone también en esta parte de la investigación la auditoría energética elaborada, con la cual se determinan los costos de operación de los casos de estudio.

En el último capítulo de esta investigación se aborda el “Análisis económico” de las propuestas de diseño planteadas (las cuales generaron costos de inversión), así como de los resultados de la auditoría energética (costos de operación). Con la relación de lo anterior y algunas extrapolaciones de datos, se buscó responder a las siguientes preguntas: ¿Qué tan rentable resulta la aplicación de propuestas bioclimáticas a la vivienda actual y a la vivienda nueva?, ¿se puede estimar el impacto ambiental que ha dejado una vivienda en el tiempo de vida útil?, ¿Cuánto costaría mantener en confort, con medidas de calentamiento artificiales, una vivienda

que no cuenta con un diseño arquitectónico adecuado?, ¿cuánto se ha excedido el costo de operación de una vivienda para climatizar su ambiente interior?...

Durante el desarrollo de esta tesis, siempre estuvieron presentes los objetivos planteados a fin de poder contestar o refutar la hipótesis propuesta al final de este trabajo. Los alcances de esta investigación fueron hacer propuestas bioclimáticas que mejoren las viviendas de la zona en términos de confort térmico y eficiencia energética, así como elaborar recomendaciones al anteproyecto de NOM-020 y finalmente hacer propuestas al reglamento de construcción del estado de Zacatecas, a fin de que esta investigación tenga una aplicación en la práctica.

ANTECEDENTES

El presente capítulo da a conocer parte de las referencias estudiadas para esta investigación; en él se habla a partir de diversos aspectos sobre arquitectura. Se profundiza en el tema de arquitectura bioclimática, la cual es parte medular de este proyecto; se enfatizan los aspectos de confort ambiental³ y eficiencia energética.

En la segunda parte de este capítulo se integran algunas investigaciones relacionadas con la presente, las cuales se analizaron con la finalidad de conocer las tendencias actuales del análisis experimental sobre el comportamiento térmico de la vivienda del país, a fin de enriquecer con otras experiencias y opiniones el desarrollo y los resultados de este trabajo.

1.1 Arquitectura

Existen muy diversas definiciones de arquitectura y al ser ésta una consecuencia del momento histórico en que surge, obligadamente ha variado la idea que se tiene sobre ella de una época a otra; así mismo el hecho de considerarla dentro de las artes representa mayor subjetividad y polémica al abordarla: se podría estructurar una amplia y vigente discusión con opiniones nacidas en distintos periodos, sin embargo la finalidad al hablar de ella es únicamente ubicar el panorama teórico del que se partió para esta investigación, por lo que se presentan ideas muy concisas y representativas sobre la misma.

³ Se entiende como confort ambiental el conjunto de los tipos de confort que son objeto de la arquitectura bioclimática: confort térmico, higrométrico, lumínico, acústico y olfativo. Sin embargo se menciona que para esta investigación se abarcaron únicamente el confort térmico, higrométrico y lumínico, los cuales serán referidos como confort ambiental para efectos prácticos.

Vitruvio en el siglo I a.C. concibió la arquitectura como una “ciencia adornada de otras muchas disciplinas y conocimientos, por el juicio de la *qual* pasan las obras de las otras artes. Es práctica y teórica” (traducido en 2007, p. 2). Estableció tres cualidades que estarían presentes en las obras arquitectónicas, las cuales debían “construirse con atención a la firmeza, comodidad y hermosura” (p. 14), la arquitectura habría de buscar el equilibrio entre estos factores. Con respecto a la comodidad o utilidad, traducida del latín *utilitas*, Vitruvio hizo una amplia consideración del medio ambiente en su legado “*De architectura libri decem*” (Los diez libros de la arquitectura), único tratado de arquitectura conocido de ese tiempo (Rodríguez V., 2005). En su sexto libro, Vitruvio refirió la regionalización de las construcciones con respecto al clima de la siguiente manera: “los edificios privados estarán bien dispuestos, si desde el principio se tiene en cuenta el clima de los lugares en que se construye, porque no hay duda de que tienen que ser distintos los edificios que se hacen en Egipto de los que se hacen en España, distinguiendo los de Ponto de los de Roma, y así también en otros países” (Puppo & Puppo, 1972).

Se alude a Vitruvio para hacer notar que hace más de veinte siglos ya se hablaba del correcto uso de los materiales, la utilidad de las orientaciones, el aprovechamiento del viento, las conveniencias de los emplazamientos, el aprovechamiento del agua, etc. (Pérez I., 2005). La arquitectura consideró en sus orígenes la integración con la naturaleza.

No obstante, las distintas situaciones de la historia fueron incitando al hombre a obedecer modas o tendencias, en las que la idea de adaptación con el medio ambiente se ha ido perdiendo. Previo a la llegada de la Revolución Industrial existía la arquitectura regional, la arquitectura “vernácula”, la cual surge de la experiencia obtenida con las construcciones anteriores y se transmite de una generación a otra, en ella se contemplan las características climáticas, se utilizan los materiales de construcción de la región y se responde a las tradiciones culturales locales (Arauz E., 1984). En la figura 2, se muestra un ejemplo de arquitectura vernácula en Irán, en el cual la construcción es con el material más abundante de un clima desértico, sistema constructivo que le sirve para retardar las condiciones ambientales exteriores hacia el interior.



Figura 2. Ejemplo de arquitectura vernácula

http://arquitecturamashistoria.blogspot.com/2007_06_01_archive.html

La Revolución Industrial fue un detonante del cambio en muchos aspectos de la sociedad mundial; cambio manifiesto también en la arquitectura. La industrialización fue un proceso de indiscutible relevancia para la humanidad, sin embargo al tener mayor facilidad del empleo de los recursos, el ser humano, con la cultura de sobreexplotación que lo caracteriza, llevó a la tierra a un acelerado ritmo de producción y consumo; es cierto que desde la prehistoria el hombre ha sido explotador de su medio (nomadismo), sin embargo con la llegada de la Revolución Industrial se multiplicaron y facilitaron los medios del hombre para afectar el ambiente (Szokolay, 1980).

La arquitectura e ingeniería de la era industrial, mediante el uso materiales constructivos como el hierro y el hormigón armado, permitieron fachadas libres con grandes acristalamientos, que a su vez fueron posibles con el surgimiento del vidrio plano (figura 3); así mismo, lograron revolucionar la manera de concebir los espacios y de construirlos. Con la edificación de gran cantidad de fábricas, muchos trabajadores tuvieron que acercarse a las ciudades para vivir más cerca de su lugar de trabajo, por lo que estas últimas comenzaron a sobre poblarse y fue necesaria la construcción masiva de vivienda; al igual que en la industria "la arquitectura se comenzó a 'producir' en función del rendimiento de áreas construidas por densidad de habitantes" (Arauz E., 1984) es decir, que el proceso de crecimiento de las grandes ciudades se aceleró.



Figura 3. Crystal Palace, 1850-1851

<http://media-2.web.britannica.com/eb-media/52/12552-004-DAD4D003.jpg>

Durante el siglo XX con la inercia de la industrialización, surgió la disyuntiva sobre si la arquitectura debía obedecer a la función (utilidad o comodidad) o a la forma (hermosura). El arquitecto estadounidense, Louis Sullivan a lo largo de su obra sostuvo y manifestó que “la forma sigue la función” (Bussagli, s. f., p. 250); surgieron ideas mucho más abstractas como la de Le Corbusier que, a pesar de su ideología funcionalista, consideraba al arte como la superación del hombre y definió a la arquitectura como “el correcto, sabio y magnífico juego de los volúmenes bajo la luz” (Glancey, 2001, p. 182) y como “el resultado de la situación del espíritu de una época” (Colquhoun, 2005, p. 156); otra definición contemporánea a las anteriores y completamente opuesta a la de Sullivan, es la del arquitecto Philip Johnson: “la arquitectura es el arte de cómo desperdiciar el espacio”.

El funcionalismo arquitectónico trajo consigo en los años 20, la idea de la arquitectura internacional, globalizada, con un estilo universal y en consecuencia, carente de rasgos regionales: el siglo pasado distinguió con los mejores premios de arquitectura obras polémicas como la casa de cristal de Johnson (figura 4). Se menciona la controversia entre forma y función, debido a que muchos arquitectos encuentran “limitante” estéticamente el hecho de diseñar de acuerdo con el clima; sin embargo no por considerarse la función, la utilidad y el confort físico de los usuarios, se condiciona la función estética. La arquitectura debe tomar en cuenta todas las funciones del hombre, siendo la parte estética un beneficio psicológico. En este sentido se encontraría equilibrio entre forma y función.



Figura 4. La Casa de Cristal, Philip Johnson, 1941
<http://images.arq.com.mx/noticias/articulos/3496-21.jpg>

En definiciones más contemporáneas sobre arquitectura se encontró que es el “arte de proyectar y construir edificios según reglas técnicas y cánones estéticos determinados” (Larousse, 2000); “hacer arquitectura significa, antes que nada, organizar el espacio físico para resolver determinadas funciones socio biológicas...” (Coppola, 2004, p. 61); “es la arquitectura el espacio contenido delimitado por los elementos constructivos, es el espacio habitable, percibido a través de casi todos los sentidos; la arquitectura se siente, se ve, se escucha, se huele; nos hace sentir a gusto o no, crea ambientes confortables y ambientes hostiles. Por tanto, la arquitectura está implicada con la salud y bienestar de sus habitantes” (Velasco & Méndez, 2001). Según Héctor Ferreiro (1991), “la obra arquitectónica se debe concebir como un proceso de integración del hombre con su ambiente, constituyendo el hábitat” (p. 14).

Finalmente, si la arquitectura es respuesta de su tiempo debe satisfacer las necesidades de la sociedad en que se construye, utilizando la tecnología de los nuevos materiales y las nuevas técnicas de construcción con la conciencia ecológica de que cada obra es una transformación del espacio que habitarán las generaciones presentes y posiblemente las futuras. Frank Lloyd Wright, uno de los arquitectos más reconocidos del siglo XX, mencionó: “todo gran arquitecto... ha de ser un gran intérprete de su tiempo, su día, su época” (Glancey, 2001, p. 163); entender los requerimientos de las personas en cuanto a función, seguridad, estética, eficiencia, rentabilidad, etc., es un reto de los arquitectos de cualquier tiempo.

Como se sabe, las tendencias, corrientes y estilos arquitectónicos se entienden si se analiza el contexto en el que surgen; acertadamente habló de la arquitectura Octavio Paz al decir que “es

el testigo insobornable de la historia, porque no se puede hablar de un gran edificio sin reconocer en él el testigo de una época, su cultura, su sociedad, sus intenciones...”.

Frente a las necesidades de la época actual, ante una era tecnológica, se busca tecnificar también los espacios, llamándolos muchas de las veces, espacios inteligentes y dejando que la tecnología de la “arquitectura inteligente” haga las partes de un diseño eficiente, “en el pasado, la falta casi total de medios adecuados de acondicionamiento artificial aconsejaba el máximo aprovechamiento de los medios naturales” (Puppo & Puppo, 1972); así mismo, la globalización, el afán de las ciudades chicas de copiar de las grandes ciudades soluciones urbanas y arquitectónicas con la idea de “modernizarse”, etc., ha llevado a que la arquitectura en ocasiones se quede en el “fachadismo”, en el situar los mismos diseños en distintas ciudades, en el abuso del cristal, entre otros.

Como respuesta a la falta de conciencia con que se ha dispuesto de los recursos naturales y a la ligereza actual del diseño arquitectónico con respecto a las variables climáticas, hace unas décadas, se comenzaron a retomar e incluir aspectos ambientales en la arquitectura, poniendo sobre la mesa algunos “nombres” como: arquitectura solar, bioclimática, verde, sustentable, sostenible, ecológica, etc. Existe especialización y variación entre estos términos, sin embargo, comparten la preocupación de buscar en el diseño confortable la verdadera integración con el medio, tienen como “común denominador, promover diseños con el objetivo de restaurar el balance o equilibrio entre el medioambiente y lo manipulado por el hombre” (López de Asiain, 2003).

Actualmente los términos “verdes y sustentables” son más comunes que hace algunos años; a partir de una perspectiva arquitectónica, la sustentabilidad implica la incorporación de nuevas exigencias en el diseño y a lo largo del proceso constructivo, un cambio en las técnicas y sistemas de construcción. Específicamente, una vivienda sustentable hace uso eficiente de la infraestructura existente, la energía, el agua, los materiales, el suelo (CONAFOVI, 2006) y en general de todos los recursos que el medio ambiente le ofrece.

Es tarea del arquitecto la utilización máxima de todos los medios naturales para producir una vivienda lo más sana y agradable posible, al mismo tiempo deberá buscar el ahorro en los costes, reduciendo al mínimo la necesidad de ayudas mecánicas para el control climático (Olgay, 2006, p. 23).

1.2 Arquitectura bioclimática

Bioclima se define como “cada uno de los tipos de clima que se distinguen atendiendo al complejo de factores climáticos que afectan el desarrollo de los seres vivos” (Larouse, 2000); el bioclima involucra los elementos meteorológicos que influyen en la sensación de bienestar fisiológico como son la temperatura, humedad, radiación solar y viento (Hernández H., 1984). En consecuencia, la arquitectura bioclimática parte de las características ambientales para lograr el confort de los habitantes mediante el uso eficiente de la energía: confort y eficiencia energética son temas que están implícitos.

Según el arquitecto Ken Yeang (1999), la arquitectura bioclimática “implica la consideración holística del diseño, el uso cuidadoso de la energía y los materiales, la tentativa reducción, por el diseño, del impacto de uso de los mismos al medio ambiente...”. La arquitectura bioclimática, brinda “soluciones arquitectónicas a partir del conjunto de técnicas y los materiales disponibles, con miras a conseguir el resultado del confort deseado, conforme con las exigencias del usuario y a partir del clima local” (López de Asiain, 2003, p. 2); es la acción de proyectar y/o construir considerando la interacción de los elementos meteorológicos y la edificación, a fin de que la construcción sea capaz de regular los intercambios con el entorno logrando condiciones de confort en el interior (Morillón, 2000). Su finalidad es, a través del diseño generar óptimas condiciones de confort para sus ocupantes considerando las variables climáticas y ambientales (Fuentes, 1999).

Se puede decir que lo anterior se consigue a través de la aplicación de conceptos arquitectónicos como: orientación, forma, ubicación de los espacios, proporción entre vanos y macizos, dispositivos de control solar, ventilación e iluminación natural, sistemas constructivos (Velasco & Méndez, 2001), materiales, entre otros conceptos que, al igual que los anteriores, consideren las variables ambientales.¹

La vivienda bioclimática, busca regular por sí misma, las condiciones exteriores de la manera más eficiente a fin de lograr espacios con niveles térmicos, higrométricos, lumínicos, acústicos y olfativos adecuados para el bienestar de sus habitantes; con el resultado obtenido, no solamente se contribuye al bienestar de los usuarios, sino que se persigue un ambiente más agradable, anímicamente más estimulante y que permite ahorros, tanto en energía, como

económicos al aprovechar de manera simple y sensata, la energía del sol, del viento y las propiedades termofísicas de los materiales de construcción (Hernández H., 1984).

Según Víctor Olgyay (2006):

La vivienda es el principal instrumento que nos permite satisfacer las exigencias de confort adecuadas. Modifica el entorno natural y nos aproxima a las condiciones óptimas de habitabilidad. Debe filtrar, absorber o repeler los elementos medioambientales según influyan beneficiosa o negativamente en el confort del ser humano (p. 16).

Las construcciones bioclimáticas no deben implicar costos agregados a las obras ya que dependen de “conceptos de diseño adecuados, y por lo contrario se logra reducir enormemente los costos de operación y mantenimiento a través de un uso eficiente de la energía y los recursos” (Fuentes, 2004, p. 19). Conceptos de diseño como la orientación, la ventilación natural, la iluminación, son estrategias que no alteran el costo inicial de una vivienda, pues dependen exclusivamente de la habilidad del diseñador, sin embargo al presente se tiene la idea de que la arquitectura bioclimática es considerablemente más cara. En México por lo general no se acostumbra, como en otros países, tomar en cuenta los costos de inversión en relación con los costos de mantenimiento; sin embargo, para conocer en realidad cuánto cuesta una vivienda, es necesario hacer una proyección del gasto que implicará su operación.

La aplicación de diseño bioclimático en la arquitectura, teóricamente representa grandes beneficios los cuales han sido evaluados en la práctica de distintas maneras. Probar y evaluar la vivienda bioclimática para mostrar de manera tangible su desempeño, ayuda a la mayor aceptación e interés por parte de las personas, por lo que al final de este capítulo se presentan algunos experimentos relacionados con la arquitectura bioclimática.

1.2.1 Confort

Confort es el estado de bienestar físico y psicológico manifestado por un individuo en determinado tiempo y lugar; el cuerpo humano se encuentra en estado de confort cuando no tiene que realizar mayor esfuerzo para mantenerse en equilibrio con el medio ambiente (Fuentes, 2004). El confort depende de la sensación de cada persona, por lo que resulta un tema que puede ser muy relativo, pues en él intervienen incluso factores emocionales. Se ha

buscado la manera de sistematizarlo en rangos generales y afines a la mayoría de las personas para hacer su estudio de manera más objetiva.

Baruch Givoni (1984), uno de los referentes más reconocidos de arquitectura bioclimática, asevera que la sensación de confort al interior de un espacio depende de la combinación de las respuestas humanas a diversos factores agrupados en tres tipos: factores de naturaleza física, como las condiciones térmicas, calidad de aire, condiciones lumínicas, acústicas y olfativas; factores de percepción psicológica como las dimensiones, color, contacto visual con el exterior; y otros de naturaleza social, como la privacidad y seguridad. Todos los aspectos anteriores se deben integrar durante el proceso de diseño arquitectónico, pues aunque no se pueden controlar todos, se logran orientar a fin de un resultado eficiente.

Cualquier diseño arquitectónico debe proveer un ambiente confortable para sus ocupantes, tomando en cuenta el tipo de actividad para la que será construido. El confort físico del hombre está relacionado con dos aspectos: las necesidades fisiológicas del cuerpo humano y los requerimientos físicos ambientales (Tappuni & Mehdi, 1984); así mismo, la función principal de los edificios residenciales es contener un espacio en el que exista un ambiente interior adecuado para vivir. El diseño consciente del edificio debe proveer un alto nivel de confort térmico y lumínico, y calidad ambiental con el mínimo uso de energía convencional (Jordan & Krainer, 1997).

Para la arquitectura bioclimática el confort se divide, de acuerdo con el sentido del cuerpo humano con que se percibe, en térmico, higrométrico, lumínico, acústico, olfativo, y de alguna manera como consecuencia de los anteriores, surge el confort psicológico. De acuerdo con los objetivos de esta tesis es preciso ahondar en los aspectos de confort térmico y lumínico: según Szokolay (1984) se está en confort, justamente cuando se ignoran las condiciones térmicas y lumínicas, cuando no hay influencias térmicas o lumínicas molestas, cuando las condiciones son tales que no se perciben fácilmente por el cuerpo y no hay que hacer un esfuerzo fisiológico adicional para adaptarse a un espacio.

1.2.1.1 Confort térmico

El Confort térmico es esa condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico. En general, el confort ocurre cuando la temperatura corporal se mantiene en un rango

estrecho, la humedad en la piel es baja, y el esfuerzo fisiológico de regulación es mínimo (ASHRAE, 2001).

En el confort térmico “intervienen los fenómenos energéticos de intercambio de energía entre el cuerpo y el ambiente” (González & Mayorga, 2007, p. 158); el confort se produce cuando la cantidad de calor que se cede al ambiente es mínima ya que se tiende al equilibrio (López de Asiain, 2003), por lo tanto se puede decir que el confort en función de la temperatura, es el equilibrio térmico que posee el cuerpo humano en un momento y espacio determinados, condición que le permite desarrollar actividades físicas y mentales sin dificultad o esfuerzo fisiológico adicional (Huerta, 2002).

Los mecanismos por los que el cuerpo regula la temperatura son muy complejos: para que las células puedan mantener sus funciones normales la variación en la temperatura debe ser mínima; cambios en ella de unos cuantos grados, hacen que las proteínas se alteren y se produzca daño celular irreparable, con la consecuente enfermedad o muerte de la persona. En dicho proceso de regulación, influyen prácticamente todos los órganos; cualquier tejido vivo produce calor con su metabolismo, el cual tiene que ser eliminado del cuerpo por la piel predominantemente, a través del aumento en el flujo sanguíneo y la producción de sudor. El eje central en la regulación de ello lo ejerce el hipotálamo, una estructura situada entre los hemisferios cerebrales y la glándula hipófisis. Otro efecto regulador, pero no inmediato, lo ejerce el sistema endocrino a través de la glándula tiroides. La radiación es el mecanismo principal para perder calor, pero hay otros como evaporación, conducción y convección (Guyton, 2001).

Las variables que intervienen en el confort térmico, según apuntes de Diego Morales se agrupan en dos tipos: las que dependen de las condiciones ambientales y las que dependen estrictamente de la persona que lo percibe. La información anterior se interpretó en la tabla 1 con aportaciones personales, así mismo se cruzó la información con la obtenida de las memorias de COTEDI 2005 de F. Chávez, quien generó un “modelo matemático de la zona variable de confort térmico”.

Las variables que dependen del ambiente son las que se pueden regular en el microclima de un espacio interior; sin embargo dentro de los estudios de confort se han incluido estadísticas generales que tienen que ver con el peso, actividad metabólica que se desempeña y la edad, debido a que los rangos de confort habrán de cambiar en función de cada uno de estos

factores. Así mismo se puede decir que, el control de los parámetros en el interior de un espacio es consecuencia del diseño arquitectónico, por lo que depende de la construcción; los factores dependen del usuario. Se debe considerar también, la capacidad del hombre para habituarse al medio local y al periodo estacional ya que “la misma temperatura del aire puede dar distintas sensaciones según la estación” (Puppo & Puppo, 1972, p. 48).

carácter objetivo	Ambiente interior	Usuario	carácter subjetivo
	Temperatura del aire	Edad	
	Humedad relativa	Peso	
	Velocidad del aire	Sexo	
	Radiación solar	Complexión	
	Radiación infrarroja	Actividad	
		Arropamiento	
		Salud	
		Estado emocional	
Parámetros		Factores	

Tabla 1. Variables del confort higrotérmico

Hay que mencionar que aún cuando la temperatura del aire interior y la temperatura radiante media son confortables, la pérdida de calor del cuerpo hacia una superficie grande fría puede producir disconfort (Givoni, 1984); el 55% de la temperatura sensible depende de la temperatura del aire y el 45% depende de las paredes, muebles, cortinas, etc. (Puppo & Puppo, 1972).

Los métodos para determinar las condiciones de confort térmico se desarrollaron desde finales del siglo XIX a partir de esto, se implementaron normas o sugerencias de valores de los parámetros del clima dentro de los cuales el ser humano siente comodidad (Morales, Sámano, & Morillón, 2000). Se han realizado muchos estudios sobre confort en todo el mundo; existen diversos autores que lo han abordado como Givoni (establece un rango de confort térmico entre 21 y 26°C), Olgyay (23.9 a 29.5°C), Auliciems y Szo kolay ($T_n \pm 2.5K$), Mahoney, Evans (18 a 28°C), Fanger, Humphreys, etc. (Mayorga & Morales, 2003, p. 39).

El objetivo al hablar de confort térmico es ubicar la complejidad de un término que se reiterará a lo largo de la tesis. En el siguiente capítulo, se realiza un análisis bioclimático de la zona de estudio en el que se incluyen varias metodologías y herramientas de diseño bioclimático que consideran distintas zonas de confort, de acuerdo con lo establecido por varios de los autores mencionados.

1.2.1.2 Confort higrométrico

El confort higrométrico es aquél que depende de las condiciones de humedad en el ambiente. El rango de humedad relativa en el ambiente en el que el ser humano se encuentra cómodo es muy amplio en función de que para que esta humedad se perciba, el ambiente debe ser muy seco o muy húmedo.

En cuanto a humedad relativa se encontró mayor concordancia con respecto a los rangos de confort, pues se observó que autores como Brooks, Yaglou y Koem establecen un rango que va de 30 a 70%, criterio que se utilizó como referencia en esta tesis. Olgyay propone un criterio más amplio que permite entre 20 y 75% (Mayorga & Morales, 2003, p. 39).

El confort higrotérmico se refiere a temperatura ambiente y humedad relativa, en esta tesis se consideran juntos los parámetros de temperatura y humedad relativa debido a que son factores inversamente proporcionales; no obstante, como se mencionó la sensación que causa la humedad en la piel se percibe con menor facilidad que la variación de la temperatura, por lo que generalmente se da mayor importancia al confort térmico.

1.2.1.3 Confort lumínico

La tolerancia humana y adaptabilidad a las condiciones lumínicas es mucho más amplia que la térmica: el confort térmico varía alrededor de 18 a 30°C, el lumínico es mucho más amplio. El ser humano es capaz de leer a la luz de la luna (0.1lux) o con la luz del sol (100 000lux), sin embargo ninguno de los dos extremos es bueno porque se requiere de un esfuerzo de adaptación muy grande por parte del ojo (Szokolay, 1984) que a la larga puede provocar trastornos fisiológicos. Un espacio interior confortable lumínicamente, es el que tiene un nivel de iluminación natural suficiente para realizar las tareas destinadas para ese lugar, sin molestias de deslumbramiento (Givoni, 1984, p. 215).

En el confort lumínico intervienen aspectos cualitativos y cuantitativos: “depende de la facilidad de nuestra visión para percibir aquello que le interesa. En el confort visual intervienen tres parámetros fundamentales: la cantidad de luz o iluminancia, el deslumbramiento y el color de la luz” (López de Asiain, 2003, p. 7); sin embargo es importante considerar la calidad de la luz, uniformidad, etc. Según Szokolay, la iluminación en el plano de trabajo es muy importante pero

no el único criterio de la buena iluminación; por lo que se debe considerar todo el campo visual (Szokolay, 1984).

En algunos casos, "en regiones frías el deseo de luz natural a través de grandes áreas acristaladas entrará en conflicto con consideraciones de conservación de energía" (Givoni, 1984). En invierno las áreas acristaladas tienen temperaturas menores a las de los muros; en clima frío existe el deseo predominante por la gran penetración solar al interior, más allá de las consideraciones energéticas, incluso en regiones soleadas (Givoni, 1984). De acuerdo a lo anterior se debe hacer un balance para que los requerimientos de confort lumínico no se vean afectados por los requerimientos de confort térmico y viceversa; actualmente los nuevos materiales permiten que dicho balance sea más flexible.

1.2.2 Eficiencia energética

En términos de energía, una construcción es eficiente cuando sus condiciones físicas le permiten poca o nula dependencia de los medios artificiales para el acondicionamiento de su ambiente interior; el cual se estabiliza con mayor facilidad, sin verse afectado gravemente por las inclemencias del tiempo, es decir "que se logre la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía" (Morales, et al., 2000, p. 1). La eficiencia energética de una edificación, se puede conseguir con un apropiado diseño del espacio y una adecuada selección de materiales de construcción (Hernández T., 1991).

Según Olgyay (2006) dentro del proyecto arquitectónico "el proceso lógico es trabajar con la naturaleza y no contra ella aprovechando el potencial para crear óptimas condiciones de vida adecuadas" (p. 10), sostiene que las construcciones que "reducen tensiones", al aprovechar todos los recursos naturales que favorecen el confort humano, están "climáticamente equilibradas".

El sistema termodinámico ideal es en el que el consumo extra de energía es nulo acción que, dentro de una edificación, se puede lograr tomando ventaja del clima (Morillón, 2000) por medio del diseño bioclimático, que es una opción para obtener niveles de confort de manera natural, lo que contribuye con la economía de los usuarios, pues se reduce el gasto de energía eléctrica y la facturación de la misma (Mejía, Morillón, & Rodríguez V., 2001).

Así, el consumo eléctrico es en gran parte, una consecuencia de cómo los edificios son contruidos y usados; esto normalmente no se reflexiona en el diseño. Considerando que las actividades diarias dentro de un edificio requieren energía para asegurar el confort humano, los edificios deben ser diseñados para optimizar el consumo de energía (Souza & Montanari, 1999).

La adecuación bioclimática de las construcciones, permite mediante las acciones de proyectar y construir, considerando la interacción de los elementos meteorológicos con la envolvente de la edificación, que sea ésta misma la que regule los intercambios de materia y energía con el medio ambiente y propicie la sensación de bienestar térmico y anímico del ser humano en interiores (Hernández H., 1984); así mismo, permite mediante el diseño: la optimización de las construcciones para hacerlas compatibles con el clima y satisfacer los requerimientos de bienestar térmico de los usuarios.

En una vivienda energéticamente eficiente, se puede considerar que la forma óptima es la que minimiza las pérdidas de calor en invierno y absorbe menos calor durante el verano (González & Mayorga, 2007). Según Olgyay (2006) “la forma más eficaz de reducir el flujo de calor es a través de las propiedades aislantes del material” (p. 119), por lo que se infiere que además del diseño de los espacios, el material de la envolvente es determinante, pues es la piel que regula directamente el intercambio del interior del edificio y las condiciones del exterior.

Internacionalmente en los años setenta se manifiesta la preocupación por hacer un uso más eficiente de la energía, es a partir de la década de los noventa, cuando en nuestro país se empiezan a desarrollar políticas de eficiencia energética con el objetivo de racionalizar el uso de la misma (Rodríguez V., 2001). Actualmente existe mayor interés sobre la eficiencia energética de las edificaciones tanto para su construcción como operación, por ejemplo, existen en México 18 normas oficiales vigentes de eficiencia energética (CONAE, 2008).

Dentro de las normas que se involucran directamente con el diseño arquitectónico se encuentra la NOM-008-ENER-2001 “Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales” y la NOM-018-ENER que se refiere a aislantes térmicos en edificaciones. Además, se puede destacar los anteproyectos NOM-020-ENER “Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios residenciales” y NMX-C-460-ONNCCE-2008 que da las especificaciones de resistencia térmica total que deben cumplir las viviendas por medio de la envolvente. También en los últimos años, la CONAVI desarrolló la “Guía de uso eficiente de la

energía”, cuyo objetivo central es que “el ahorro de energía sea planteado desde el diseño mismo, con base en la arquitectura bioclimática” (CONAFOVI, 2006, p. 6).

1.2.2.1 Climatización pasiva

Según Walter B. Cannon “el desarrollo de un equilibrio térmico estable en nuestro edificio debe observarse como uno de los más valiosos avances en la evolución de la edificación” (Olgyay, 2006, p. 4), mismo que tendría grandes beneficios si se consigue por medio de sistemas pasivos, sin embargo desde que se inventó todo tipo de climatización artificial -cada vez más sofisticada- para calentar o enfriar ambientes, comenzó a desaparecer la necesidad de adaptar las construcciones al clima en que se sitúan (Arauza E., 1984).

Existe climatización pasiva y climatización activa. Los términos "pasivo" y "activo", representan los extremos en el empleo de sistemas mecánicos en la climatización (Morillón, 2002); pasivo se refiere a que los intercambios de energía obedecen a un proceso natural mediante los mecanismos de transferencia de calor en el que intervienen los componentes del edificio, tratando de que la intervención de sistemas mecánicos externos sea mínima (Morales, et al., 2000) o nula. Los sistemas pasivos pueden ser de calentamiento y de enfriamiento; los de calentamiento “usan elementos de la edificación para coleccionar, almacenar y distribuir la energía captada, solar o de alguna otra fuente de calor” (Morales, et al., 2000, p. 9). La mayoría de los sistemas pasivos y de baja energía, son diseñados para tomar ventaja del clima cuando se puede y proteger el edificio cuando no (Balcomb, 1984).

Con respecto a la parte económica, la climatización natural y los sistemas pasivos, son sumamente atractivos por el mínimo costo inicial y de mantenimiento, ya que “problemas tales como calefacción, enfriamiento e iluminación natural, pueden resolverse mediante tecnologías de adecuación bioclimática y sistemas pasivos de manera total o parcial” (Hernández H., et al., 1984) lo cual, como se ha mencionado trae otros grandes beneficios.

1.2.2.2 Iluminación natural

Se define como la energía natural necesaria para que el ojo sea capaz de ver al interior de los espacios (Vázquez, Luna, & Ochoa, 2004). En el diseño lumínico, se debe buscar el uso eficaz de la iluminación natural para obtener un consumo más racional de la energía eléctrica (Alpuche, Marincic, & Ochoa, 2008) por el acondicionamiento lumínico artificial de los espacios.

La utilización de la luz natural en edificios es habitualmente muy limitada debida a que, en la mayoría de las ocasiones se propone de manera intuitiva y se supone el resultado. Sin embargo, los beneficios que se pueden lograr gracias al uso perfeccionado de la luz natural, son muy diversos (López de Asiain, 2003). “Las últimas décadas han sido importantes en la investigación sobre la iluminación natural” (Alpuche, et al., 2008, p. 77).

Con respecto a los beneficios de la iluminación natural se puede mencionar que se ha verificado de diversas maneras que el rendimiento de las personas es mayor con luz natural que con luz artificial; así mismo, en un artículo reciente de National Geographic se menciona que en estudios elaborados, se encontró relación entre el incremento de cáncer de mama y la excesiva iluminación artificial, a través de la ‘brillantez nocturna de los vecindarios’, en él se menciona que “la polución lumínica también podría cobrarle una factura biológica a los humanos” (Klinkenborg, 2008, p. 9), por lo que se debe buscar la iluminación natural en la medida de lo posible y diseñar la iluminación artificial, para optimizar los resultados.

1.2.3 Experimentos y análisis relacionados

Con el afán de probar de manera experimental, si verdaderamente la arquitectura bioclimática presenta mayores ventajas con respecto a las obras arquitectónicas que no consideran las variables ambientales; que además tiene costos razonables, tanto de construcción como de operación; que su impacto ambiental es menor, entre muchos otros beneficios, se han generado diversas investigaciones tanto cuantitativas como cualitativas, en las que se ponen a prueba estas variables. En las siguientes líneas se presentan algunos ejercicios que se utilizaron como referencia de este trabajo y que dan a conocer la tendencia de la investigación en materia de confort en la vivienda del país.

Se encontró que hasta el momento, se han realizado en México diversas investigaciones relacionadas con el confort y la eficiencia energética de la vivienda; se observó que estos estudios se han llevado a cabo generalmente mediante el uso de simuladores de las condiciones térmicas o lumínicas y, en menos casos, con mediciones en sitio. A continuación se describen brevemente algunas de ellas.

Una de las investigaciones más completas que se encontró corresponde a una convocatoria emitida por CONAFOVI y CONACYT: “Proyecto Interinstitucional de investigación aplicada en confort térmico y ahorro en la vivienda” (Romero, et al., 2005), en la que se hicieron encuestas

de caracterización de las viviendas y el usuario, se evaluaron las viviendas en el periodo de verano, mediante monitoreo ambiental y simulación térmica, posteriormente se hicieron propuestas de diseño a los casos de estudio, y se elaboraron lineamientos y recomendaciones aplicables a la vivienda con clima cálido húmedo y cálido seco.

Dentro del país, una de las investigadoras que ha trabajado ampliamente con el monitoreo ambiental y la simulación térmica es Irene Marincic. En uno de sus experimentos obtuvo una relación de la oscilación térmica con la profundidad de un espacio con respecto a su vano, encontrando que la diferencia en una habitación fue de hasta 2K a la misma hora del punto más cercano a la ventana (temperatura más alta) con respecto a al punto monitoreado más alejado; el experimento se realizó durante 21 días, con monitoreo tanto exterior como interior (1.60m de altura), con intervalos promedio a cada 10 minutos, con poca ventilación y baja presencia de ocupantes (Marincic & Isalgué, 2000).

En otra evaluación de Marincic realizada junto con Ochoa (2001) se destaca un aspecto determinante para la presente investigación: los casos de estudio se analizaron y evaluaron bajo condiciones reales de ocupación. Es decir que los usuarios formaron parte del experimento, pues es en la condición más frecuente de un espacio, como éste se debe evaluar; en dicha investigación se llevó a cabo un monitoreo durante 33 días de invierno con intervalos de 10 minutos y se una comparación que ayudó a establecer el diseño térmico más adecuado.

Otro de los estudios comparativos referentes, es un monitoreo de dos viviendas iguales elaboradas con materiales distintos en la ciudad de Sonora (Marincic & Ochoa, 2004), el monitoreo simultáneo de las viviendas, se desarrolló durante tres semanas poniendo a prueba las especificaciones de los materiales ofrecidas por los fabricantes. En este artículo se concluye, que la evaluación del funcionamiento del proyecto es de suma importancia, pues en este caso, contrario a lo que se pensaba, el resultado fue que las viviendas construidas con block tradicional tuvieron mejor desempeño que el sistema de block de poliestireno.

Una de las investigaciones en las que se encontró un análisis experimental a través de mediciones, es: “Evaluación de las condiciones de comodidad térmica, de una vivienda de interés social en Hermosillo, Sonora” en la cual se midió una vivienda durante dos meses con condiciones controladas de ventilación, se evaluaron las variables de temperatura ambiente, temperatura radiante y humedad relativa; así como “Desempeño térmico de una vivienda de

interés social en la ciudad de Hermosillo, Sonora” (Pérez, Borbón, & Cubillas, 2004) con el objetivo de aportar información cuantitativa de las condiciones ambientales interiores; el experimento se realizó durante tres meses con puertas y ventanas cerradas, y la altura de monitoreo fue de 1.2m.

Se encontró también una “Evaluación térmica para una casa habitación con principios bioclimáticos en Hermosillo, Sonora” (Mercado, Mercado, & Ochoa, 2006) en la que se probaron estrategias de diseño como sombreado y masa térmica encontrando gran amortiguamiento térmico (26K en el exterior, 3K interior) aunque en varias ocasiones la vivienda se encontraba fuera de la zona de confort. En este estudio se utilizó un monitoreo que abarcó alrededor de 2 meses, una parte se realizó durante el invierno y otra durante el verano.

Se consideró también como referencia, un análisis de orientación desarrollado en Tuxtla Gutiérrez en el que se tomó un prototipo de vivienda con tres orientaciones distintas; se observó que además del asoleamiento hubo cambios considerables por el efecto de la ventilación. Así mismo, la orientación más conveniente fue la que tenía acristalamiento en la fachada norte y sur de tal manera que se propició la ventilación cruzada y el sombreado. Las mediciones realizadas consistieron en tomar lecturas con termómetros de mercurio a determinadas horas, se apoyó la investigación con una maqueta para estudiar la incidencia solar, así como encuestas realizadas a los usuarios (Cruz, Castañeda, Argüello, Zebadúa, & Vecchia, 2004).

En cuanto a investigaciones comparativas de vivienda se tiene el antecedente de ejercicios como “Estudio de comportamiento térmico de tres prototipos de vivienda, para un clima desértico” (Bojórquez, Gallegos, & Luna, 2000), en el que se simuló el comportamiento de tres viviendas distintas con superficie y volumen análogos, a fin de mostrar de manera cuantitativa de qué manera, una vivienda diseñada con “estrategias de adecuación ambiental” tiene menor requerimiento de climatización que la que no considera las variables ambientales del lugar en que se construye.

Otro de los análisis comparativos de vivienda bioclimática y convencional es: “Comportamiento térmico y diseño bioclimático de un prototipo de vivienda para Oaxaca, Oaxaca” (Mecott, et al., 2007), mismo que se lleva a cabo mediante una simulación térmica. Se consideraron estrategias bioclimáticas como la ventilación cruzada, calentamiento solar pasivo y amortiguamiento térmico, y con ello se redujo el consumo de energía en un 37% en el diseño bioclimático con respecto al convencional.

Cabe mencionar que se encontraron varias investigaciones realizadas en la Universidad Autónoma de Baja California, destacando autores como Ramona Romero, Gonzalo Bojórquez, Aníbal Luna y Ricardo Gallegos, quienes utilizan en la mayoría de sus investigaciones la simulación térmica.

Como referentes de análisis en los que se utilizó como metodología de evaluación la NOM-020 se tiene a Díaz-Jiménez y Morillón (1999), quienes trabajaron el mismo prototipo de interés social en distintos tipos de clima del país, observando que los parámetros permitidos por la norma son estrechos y/o las ganancias térmicas de dichas viviendas elevadas, ya que excedieron el límite hasta por más del doble, a excepción del clima semi-frío como el de la Ciudad de México y Toluca donde, como se menciona, se requeriría calefacción.

Otra de las referencias es la tesis de maestría de Verónica Huerta (2002) de la UAM-Azcapotzalco en la que se seleccionaron dos casos de estudio y se probaron en seis tipos de clima dentro del país. En los resultados se encontró que nuevamente la Ciudad de México y Toluca cumplen con la normatividad sin requerimiento de modificación.

Existe también una “Evaluación bioclimática de la vivienda de interés social: caso Pachuca, Hidalgo” (Canales, 2003) en la cual se analizaron cuatro viviendas distintas con superficies similares y diversas orientaciones. El cálculo térmico se basa en la metodología propuesta por el anteproyecto de norma 020, se considera la vivienda aislada, que es como lo establece el Presupuesto Energético de la normatividad, y además se realizó una comparación de la influencia que tiene la colindancia como tal -sin ganancias solares- en la que con la aplicación de la ecuación de Termopreferéndum se pudo evaluar el edificio proyectado en invierno y en verano, aspecto en el cual la norma se encuentra un tanto limitada debido a que considera una sola temperatura equivalente que se determina en función de los meses de verano (CONAE, 1997).

Con respecto a análisis de rentabilidad económica y comparación entre vivienda convencional y bioclimática, se encontró un “Análisis comparativo de costos de construcción entre diseño convencional y un diseño bioclimático” (Morillón, López, & Rodríguez, 1999) se concluye que es posible comparar las alternativas de ambos proyectos en un mismo plano de referencia y asegura que los proyectos bioclimáticos presentan mayores ventajas económicas que los

proyectos tradicionales, además de que ecológicamente representan un beneficio pues la demanda de energía en los primeros es menor.

Se encontró también un “Análisis financiero y de confort de dos viviendas de interés social” (Reséndiz, Poujol, Flores, Velásquez, & Soria, 2003) en el que se hace una comparación económica de dos casas distintas, se observa que existe una diferencia en superficie de 33% de los casos de estudio; el análisis de confort se determinó por medio de varias series de monitoreo de 24 horas con registros a cada segundo, promediando los valores a cada 10. Las pruebas se realizaron con las siguientes variables: puertas y ventanas cerradas, abiertas, ventanas abiertas, puertas abiertas. El análisis incluyó la temperatura del aire y la temperatura radiante.

Se observa, de acuerdo con la mayoría de las investigaciones anteriores, que los estudios experimentales de vivienda bioclimática en el país están encaminados, por lo general, a abordar clima cálido y que se estudia en menor proporción el clima frío; así mismo que actualmente la tendencia de las investigaciones es la simulación térmica y que se escogen periodos o días representativos para ser evaluados.

Las características recurrentes en la mayoría de los trabajos encontrados, no responden a los objetivos de la presente investigación, sin embargo se consideraron como referencia y se tomaron en cuenta las experiencias de investigadores que han dedicado gran parte de su vida profesional a la evaluación bioclimática de vivienda. Aspectos como los periodos de medición, las técnicas o características de los monitoreos, el equipo utilizado en ellos, las condicionantes para evaluar los espacios, la organización de datos, entre otros, son aspectos que fueron de gran utilidad para la realización de esta tesis.

Cabe mencionar que no se encontraron ejercicios similares al desarrollado en este trabajo en la región de estudio. Así mismo, que los periodos de medición de la mayoría de los trabajos, son relativamente cortos, por lo tanto en este trabajo se planteó un proceso de medición continuo durante varios meses.

SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

En este capítulo se describe el proceso de selección de los casos de estudio: una vivienda “con principios bioclimáticos” y una vivienda “convencional”. Lo anterior se expone a partir de aspectos generales y afines para dichos casos de estudio, como son el clima y el lugar abordados, hasta aspectos particulares que precisan las características de cada uno de ellos. Así mismo se establecen los criterios bajo los cuales, se llevó a cabo la comparación de las viviendas, parte medular de esta investigación.

2.1 Selección de clima

2.1.1 Clima

Etimológicamente clima significa “inclinación” y estaba referido así por los griegos debido a la inclinación de los rayos del sol y a su incidencia en la superficie terrestre (Ferreiro, 1991). Ellos observaron que no era la misma inclinación de un lugar a otro, y que incluso en el mismo lugar variaba día con día; así mismo establecieron una relación de esta observación con el comportamiento de la temperatura. Existen diversas definiciones de clima, Julius Hahn lo puntualizó como “el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre” (Fuentes, 2004); Enriqueta García plantea que el “clima es el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar determinado, y comprende los extremos y todas las variaciones” (Morales, et al., 2000).

Se puede decir que clima es el patrón que siguen normalmente las condiciones atmosféricas de un sitio en específico; estas condiciones atmosféricas responden a las características físicas del lugar y a su ubicación geográfica.

El clima de un lugar está determinado por ciertos factores: la posición que éste ocupa dentro del planeta, su altura sobre el nivel del mar, su distribución de tierra o agua, incluso las mismas modificaciones del hombre, entre otras; estos factores identifican a cada región. Existen también, los elementos del clima que son propiedades físicas de la atmósfera (Rodríguez V., 2001), las cuales cambian constantemente y dependen unas de otras. En la tabla 2 se resumen los elementos y factores que componen el clima.

Elementos	Termodinámicos	Temperatura
		Presión
		Vientos
	Acuosos	Humedad
		Precipitación
		Nubosidad
Factores	Cósmicos	Forma de la Tierra
		Movimiento terrestre
		Sol
	Geográficos	Altitud
		Longitud
		Latitud
		Naturaleza del suelo
		Relieve
		Composición atmosférica
		Agua
		Vegetación

Tabla 2. Elementos y factores del clima

Fuente: Manual de Arquitectura Solar (Ferreiro, 1991, p.39)

2.1.2 Clasificación climática

Existen varias clasificaciones climáticas, una de las más utilizadas mundialmente es la propuesta por el alemán Wladimir Köppen (Ferreiro, 1991). Esta clasificación se realizó con base en datos climatológicos europeos, por lo que no se adecuía completamente a los tipos de clima de México. En 1964, Enriqueta García hizo una adecuación a dicha clasificación para emplearla con mejores resultados en nuestro país (Rodríguez V., 2001). Sin embargo, hay que mencionar que la clasificación Köppen-García está elaborada con fines de agricultura y no precisamente para arquitectura.

En concordancia con dicha adecuación climática, los arquitectos Aníbal Figueroa y Víctor Fuentes (1989) crearon una clasificación climática para el país con propósitos arquitectónicos,

en la que determinaron nueve bioclimas (tabla 3). Cabe mencionar que ambas clasificaciones se dan en función de la temperatura media y la precipitación pluvial mensual.

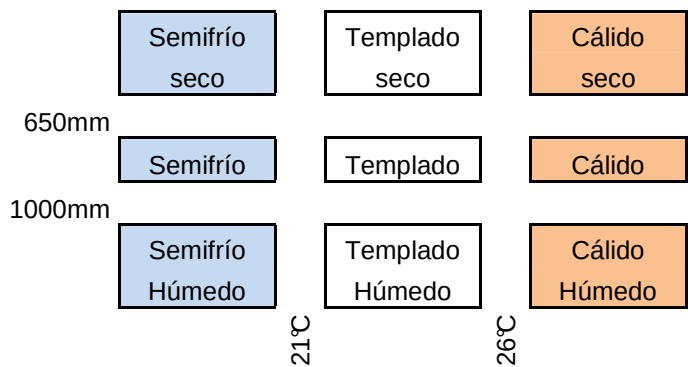


Tabla 3. Clasificación bioclimática (Figuroa & Fuentes, 1989)

Recientemente el Organismo Internacional de Normalización y certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE, 2008) elaboró una clasificación climática en cuyas estrategias involucra al confort térmico y la eficiencia energética. Esta clasificación implica los Grados-Día, la clasificación climática de Köppen y dos clasificaciones emitidas por CONAVI; de acuerdo a la ponderación de las clasificaciones mencionadas determina cuatro zonas térmicas para el país.

2.1.3 Selección clima semifrío seco

El clima que se aborda en esta investigación, es seco extremoso BS1 kw(w)(e)w" en la clasificación de Köppen-García, lo que significa que de acuerdo con la temperatura media es templado con verano fresco y largo debido a que el régimen de lluvia es en este periodo, así mismo entra en los climas extremosos debido a que su oscilación térmica del mes más caliente con respecto al más frío es entre 7 y 14K⁴ (Fuentes, 2004); según el nivel de precipitación pluvial se clasifica como semiárido.

Dentro de los bioclimas establecidos por Figuroa-Fuentes se coloca como semifrío seco debido a que la temperatura media del mes más cálido (junio) es menor a 21 °C y su precipitación pluvial anual es menor a 650 mm.

⁴ En esta investigación los datos de oscilación térmica se presentarán en escala absoluta, por lo que el símbolo K se refiere a grados Kelvin

En la clasificación ONNCEE, la ciudad de Guadalupe pertenece a la zona térmica 3B, pues en función de su temperatura media anual (16.7°C) y precipitación pluvial, se ubica como un lugar seco.

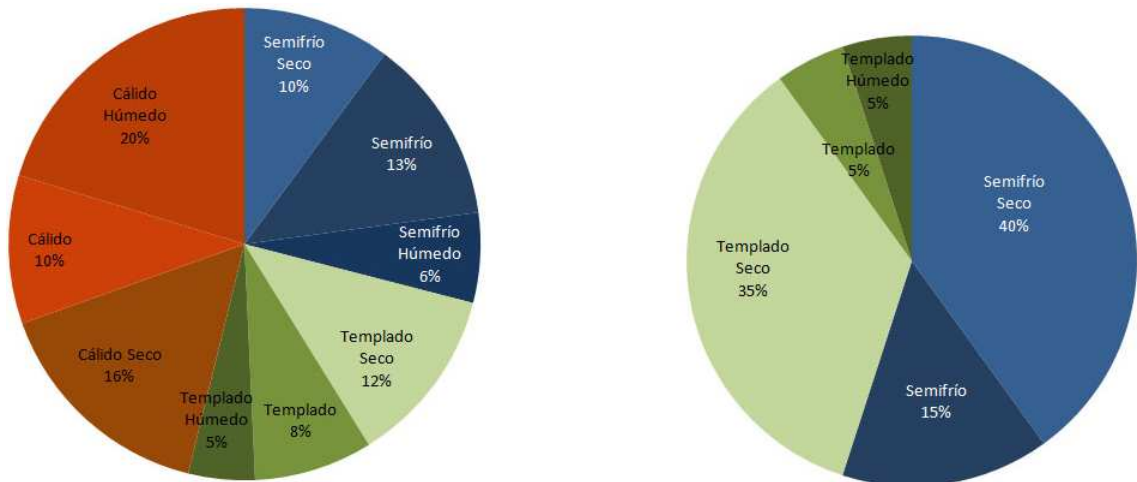
2.1.4 Justificación de la selección del clima

Es preciso mencionar que se eligió un clima semifrío debido a que en nuestro país, como se vio en los antecedentes, este clima ha sido estudiado en menor proporción que el clima cálido e incluso el templado. Lo anterior responde a que en términos económicos, en el país el impacto por climatización artificial para calentamiento con respecto al impacto por climatización artificial para enfriamiento, es más bajo y consecuentemente se presta menor atención al primero. Sin embargo en la temporada invernal el nivel de confort higrotérmico de los usuarios se ve altamente afectado en algunas zonas del país.

Así mismo, se seleccionó un clima seco extremo, debido a que generalmente presenta grandes oscilaciones térmicas. Esto es porque la falta de nubosidad en el ambiente permite buena radiación solar por lo que se eleva la temperatura; sin embargo la misma falta de humedad, no ayuda a que la temperatura ganada se mantenga y desciende fácilmente cuando la radiación solar disminuye; ésta es una constante del clima árido.

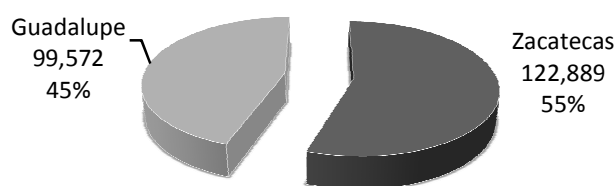
2.2 Justificación de la selección de lugar Ciudad de Guadalupe, Zacatecas

Como se mencionó dentro de la superficie total del país, el clima semifrío constituye un porcentaje bajo en relación al clima cálido que ocupa una superficie considerable; de acuerdo con la "Agrupación bioclimática de setecientas ciudades" elaborada por el Dr. Víctor Fuentes (2008), el clima cálido constituye el 46%, el templado el 25% y el semifrío el 29%. Sin embargo, en el estado de Zacatecas el territorio con clima semifrío constituye un área considerable; de acuerdo con la misma agrupación climática se tiene un porcentaje de 55% de clima semifrío y 45% de clima templado. En la gráfica 1 se presentan del lado izquierdo los porcentajes del país y del lado derecho los del estado de Zacatecas; cabe mencionar que estos porcentajes responden a una base de datos de setecientas ciudades más no a la superficie total del país.



Gráfica 1. Porcentajes de bioclimas en la República Mexicana y en el estado de Zacatecas.
(Fuentes, Agrupación bioclimática de setecientas ciudades de la República Mexicana, 2008)

Dentro del territorio del estado de Zacatecas, se consideró la ciudad de Zacatecas por tratarse de la capital, no obstante las ciudades de Zacatecas y Guadalupe forman una conurbación, por lo que hubo que considerarlas en conjunto. Finalmente, esta investigación se acotó a la parte de Guadalupe al reflexionar que actualmente es uno de los principales polos de crecimiento y que gran parte del desarrollo habitacional de los últimos años es también hacia la parte de Guadalupe, con respecto al desarrollo institucional que es generalmente hacia el lado de la ciudad de Zacatecas. Según datos del último conteo de población del INEGI (2005), el 45% de la población de la zona conurbada, se encuentra en Guadalupe (gráfica 2).



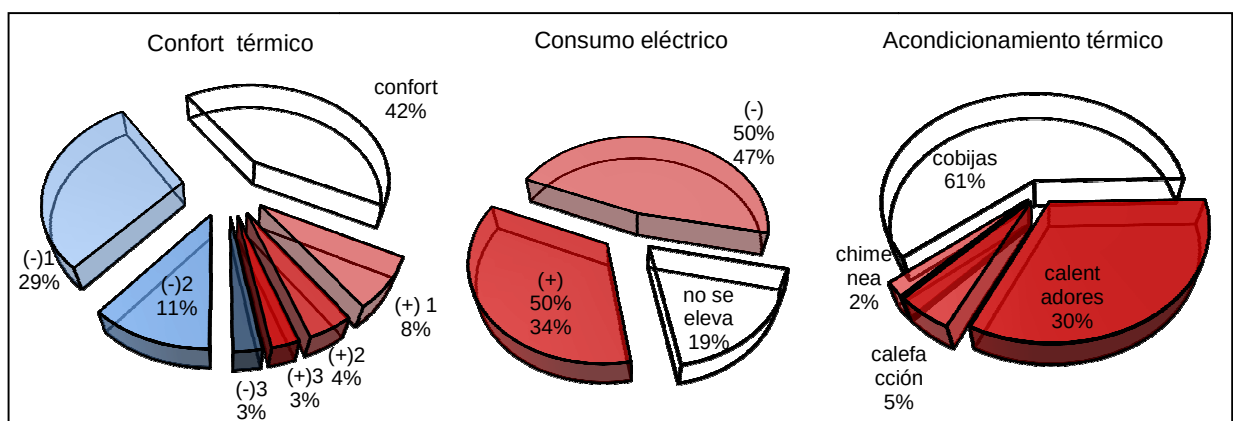
Gráfica 2. Población total, zona conurbada Zacatecas-Guadalupe. (INEGI, 2005)

Además de las consideraciones anteriores para la determinación del lugar de estudio, se tomó en cuenta el fin principal de la arquitectura bioclimática, que es lograr condiciones de confort para los usuarios con el menor consumo de energía. En esta zona hay falta de confort higrotérmico al interior de gran parte de las viviendas, tanto en los meses fríos como en los

cálidos. A pesar de ello, no se ha dado importancia a la búsqueda de nuevas soluciones bioclimáticas que hagan más confortable el espacio interior de las viviendas de la zona.

Atendiendo a que el confort es una cuestión subjetiva, al principio de este trabajo se elaboró una sencilla encuesta a 108 personas. En ella se observó que más de la mitad de los encuestados califica sus viviendas como “muy frías”, “muy calientes” o “extremosas”. Algunas de las respuestas dejaron ver que se ha venido aceptando la falta de confort térmico dentro de la población, es decir que se ha vuelto normal que la gente califique sus viviendas con expresiones como “caliente en verano y fría en invierno”, “va con el clima”, “hace más frío adentro que afuera”, “helada”. Así mismo algunas personas comentaron que no utilizan calentadores debido a que causan daño a la salud porque resecan el ambiente por lo que prefieren soportar las bajas temperaturas al interior de sus casas.

En la gráfica 3 se resumen los resultados de la encuesta realizada: la primera gráfica responde a la calificación de las condiciones de confort al interior de las viviendas por parte de los usuarios, la calificación va de -3 a +3, que responde a extremadamente fría (-3), fría (-2), ligeramente fría (-1), confortable, ligeramente cálida (+1), cálida (+2) y extremadamente cálida (+3). La segunda gráfica responde a la pregunta: “¿se eleva el consumo eléctrico en su vivienda durante la época invernal?”, el 19% respondió “no se eleva el consumo eléctrico”, 47% “se eleva en menos del 50%” y 34% “se eleva más del 50%”. La tercera gráfica responde a acondicionamiento térmico en la época invernal, las respuestas tienen que ver con las medidas de los usuarios para obtener condiciones de confort, las cuales consideran acciones sencillas como la utilización de más cobertores hasta la implementación de sistemas de calefacción.



Gráfica 3. Resultados encuesta

2.3 Caracterización climática de la Ciudad de Guadalupe, Zacatecas

Como se mencionó anteriormente existen factores y elementos del clima, por lo que el siguiente análisis climático se divide en los factores y los elementos que se consideraron más relevantes para caracterizar el clima de la ciudad de Guadalupe. A partir de este análisis se establecieron las estrategias de diseño bioclimático propias de dicha ciudad, considerando que dentro del diseño bioclimático, el clima es un factor fundamental ya que a partir de él se establecen en gran medida los conceptos, formas, proporciones y colores (Fuentes, 2004). Con base en este análisis, se hizo la selección de las viviendas que se propusieron como casos de estudio para esta tesis.

2.3.1 Factores del clima, ciudad de Guadalupe

2.3.1.1 Localización

La ciudad de Guadalupe se ubica en la parte Oriente del estado de Zacatecas. Es la cabecera municipal del ayuntamiento que lleva su mismo nombre. Se encuentra al noreste de la capital del Estado, como se mencionó anteriormente, forma parte de la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe. En la figura 5 se muestra un mapa de México destacando al centro norte el estado de Zacatecas, y éste a su vez señalando entre sus municipios el de Guadalupe.



Figura 5. Mapa de ubicación Guadalupe, Zacatecas

2.3.1.2 Latitud

Guadalupe tiene una latitud de 22°44' N. Este dato es importante ya que se conoce, a partir de él, la incidencia solar que se tiene; los lugares más cercanos al ecuador recibirán rayos más

perpendiculares al piso que los que se encuentran más alejados. Para el caso de Guadalupe la latitud indica que habrá mayor asoleamiento en la orientación sur que en las otras.

2.3.1.3 Longitud

La longitud en que se ubica la ciudad de Guadalupe es 102°30' O. No se considera a la longitud como un factor que modifique el clima debido a que, teóricamente, los lugares que se ubican en una misma longitud tendrían condiciones climáticas muy semejantes si se mantuvieran a la misma altitud, sin embargo se menciona para precisar la ubicación geográfica.

2.3.1.4 Altitud

La ciudad de Guadalupe se encuentra a una altitud promedio de 2258 msnm. Factor de gran importancia debido a que la temperatura de la atmósfera desciende con el incremento de la altitud (Rodríguez V., 2001), además bajo esta misma condición, la presión atmosférica disminuye y se generan mayores vientos por el movimiento de fluidos, en consecuencia disminuye la temperatura. Para ver el efecto de la altitud se plantea lo siguiente: si se supusiera la ciudad de Guadalupe al nivel del mar, tendríamos un aumento en la temperatura media aproximado de 14.45 K según el gradiente térmico atmosférico (Fuentes, 2004).

2.3.1.5 Relieve

La ciudad de Guadalupe se desplanta al centro de una zona montañosa, sin embargo su topografía no es muy accidentada debido a que los cerros rodean el desarrollo; es justamente, el relieve un factor que ha condicionado notablemente el crecimiento de la zona, el cual se ha dado en el eje este oeste, debido a que tanto en la parte norte como sur se encuentran las principales elevaciones. Lo anterior ocasiona una zona con mayores ganancias solares en algunos puntos y en consecuencia una zona con gran sombreado en otros.

Cabe señalar que una característica importante del relieve es que provoca diferencias de presión, por lo que el aire sufre aceleración ya que la dirección en la que sopla el viento es siempre de zonas de alta presión hacia las zonas de baja presión y “la velocidad que alcanza el viento está en función de la diferencia de presión entre ambas zonas, ya que mientras mayor sea la diferencia de presiones, mayor será la velocidad del viento...” (Morales, et al., 2000, p.

28). Las elevaciones y depresiones originan cambios en la dirección y velocidad del viento, pues la corriente de aire se canaliza por la topografía (García & Fuentes, 1995).

2.3.1.6 Vegetación

La vegetación es también un factor importante, debido a que generalmente ésta incrementa la humedad. Hacer un análisis cualitativo de la vegetación de un lugar, permite interpretar rápidamente el tipo de clima: la vegetación propia de Guadalupe es: mezquite, nopal, maguey, pirul, pasto y cactus (Gobierno del Estado de Zacatecas, 2005), representativa de un lugar con precipitación pluvial baja. Así mismo la vegetación antes mencionada, propia del clima seco, no impacta gravemente en los niveles de la humedad relativa del ambiente.

2.3.2 Elementos del clima, ciudad de Guadalupe

Para el estudio de los elementos del clima, se usaron los datos de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (estación 00032121 Guadalupe, Gpe.) correspondientes al periodo 1971-2000 (tabla 4). Para el análisis de datos, se utilizó la hoja de cálculo: “Análisis Climático” elaborada por el Dr. Víctor Fuentes de la Universidad Autónoma Metropolitana.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURA													
MAXIMA EXTREMA °C	28.0	28.0	30.0	32.5	34.0	35.5	32.0	33.0	29.5	29.0	30.5	27.0	35.5
MAXIMA °C	20.1	22.4	24.2	25.5	28.0	27.4	25.4	25.0	23.6	23.2	22.2	20.3	23.9
MEDIA °C	12.4	14.3	16.2	17.7	20	20.1	18.7	18.5	17.5	16.5	15.0	13.0	16.7
MINIMA °C	4.6	6.3	8.1	9.9	11.9	12.8	12.1	11.9	11.4	9.8	7.8	5.8	9.4
MINIMA EXTREMA °C	-4.0	-3.0	-0.5	1.5	3.0	3.0	6.5	8.0	1.0	2.0	-2.0	-9.0	-9.0
OSCILACION °C	15.5	16.1	16.1	15.6	16.1	14.6	13.3	13.1	12.2	13.4	14.4	14.5	14.6
HUMEDAD													
TEMP.BULBO HUMED °C	8.69	10.07	11.58	13.02	15.00	15.55	14.59	14.40	13.72	12.46	10.93	9.32	12.4
H.R. MAXIMA %	83.8	81.0	79.0	80.2	80.3	83.9	85.5	84.8	86.2	83.5	82.2	84.3	82.9
H.R. MEDIA %	60.2	57.8	56.6	57.9	58.0	61.7	63.9	63.7	65.4	62.2	60.1	61.3	60.7
H.R. MINIMA %	36.6	34.5	34.3	35.7	35.7	39.6	42.2	42.6	44.7	40.8	38.1	38.3	38.6
EVAPORACIÓN mm	135.4	155.9	220.2	244.7	246.5	186.8	182.8	162.8	132	129.2	128.3	125.3	2,049.9
PRECIPITACION													
MEDIA mm	13.0	5.4	0.8	7.4	24.4	68.9	89.0	76.6	90.0	33.1	13.5	9.7	431.8
MAXIMA mm	49.5	25.6	5.1	55.5	79.7	159.9	309.3	165.2	161.1	92.9	77.4	52.0	309.3
MAXIMA EN 24 HRS. mm	20.0	23.5	3.2	35.5	32.5	80.0	86.0	43.5	47.5	54.0	47.4	28.0	86.0
RADIACION SOLAR													
MAXIMA TOTAL W/m2	737.0	821.0	922.0	997.0	978.0	766.0	763.0	756.0	715.0	697.0	738.0	642.0	794.3
MAXIMA DIRECTA W/m2	612.0	687.0	786.0	867.0	835.0	558.0	554.0	547.0	509.0	514.0	605.0	496.0	630.8
MAXIMA DIFUSA W/m2	125.0	134.0	136.0	130.0	143.0	208.0	209.0	209.0	206.0	183.0	133.0	146.0	163.5

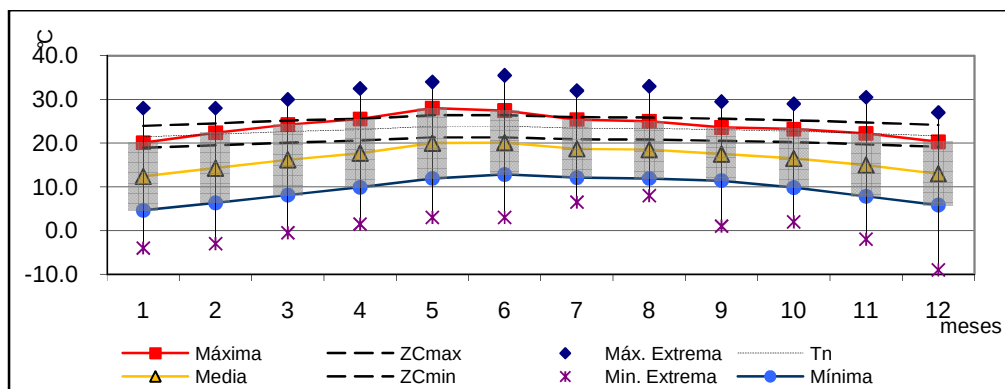
Tabla 4. Datos climáticos Guadalupe, Zacatecas (1971-2000)

2.3.2.1 Temperatura

La ciudad de Guadalupe tiene una temperatura media anual de 16.7°C, de acuerdo al promedio mensual los meses más cálidos son mayo y junio, y el más frío enero. La temperatura máxima anual es de 23.9°C y la mínima de 9.4°C, dentro de las temperaturas máximas, mayo alcanza el promedio más alto: 28°C; dentro de las temperaturas mínimas, enero presenta el promedio más bajo: 4.6°C.

A lo largo de los treinta años que se presentan en las normales climatológicas, han existido temperaturas extremas que van de -9°C a 35.5°C, sin embargo estos datos generalmente no se toman en cuenta para un análisis climático porque son datos aislados y no responden al comportamiento típico, ya que tendrían que ver con el estado del tiempo y no estrictamente con el clima de la ciudad de Guadalupe.

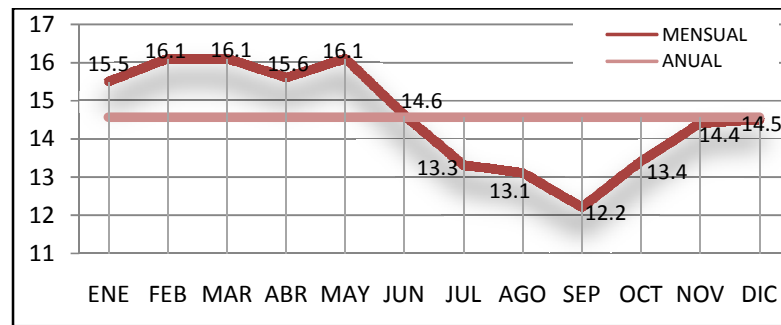
En la siguiente gráfica se pueden observar los datos de temperatura de la tabla 4, graficados para cada mes en relación con la zona de confort y la temperatura neutra, la cual se da en función de la temperatura media mensual por lo que varía. Se grafican con línea punteada gruesa los límites superior e inferior de la zona de confort y con línea punteada más fina, al centro de la zona de confort, se presenta la temperatura neutra. Se puede observar que la temperatura media durante todo el año permanece bajo el límite inferior de la zona de confort.



Gráfica 4. Temperatura ambiente en Guadalupe
Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, (Fuentes, 1991)

Un aspecto relevante de la temperatura de Guadalupe es la oscilación o amplitud térmica. Ésta abarca rangos de 12K en el periodo de lluvia a 16K en el invierno, teniendo un promedio anual de 14.6K (gráfica 5). Los meses que presentan mayor oscilación térmica son febrero, marzo y

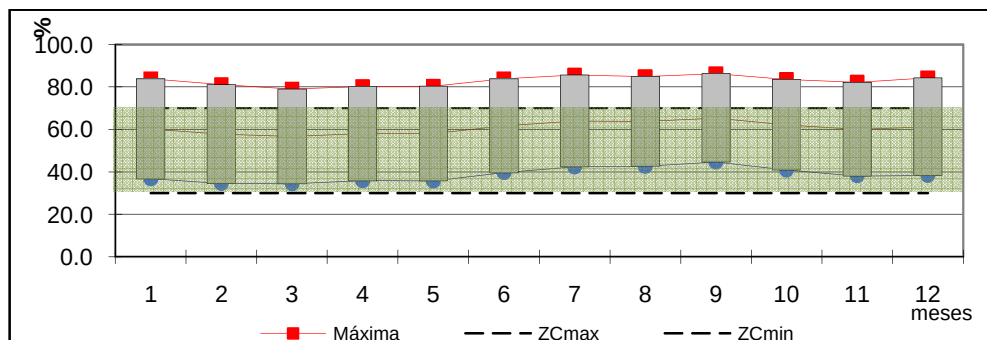
mayo (16.1K); septiembre es el mes con menor oscilación térmica (12.2K), lo anterior se puede relacionar si se atiende a que este mes tiene la precipitación pluvial más alta. El amplio rango en que se desenvuelve la temperatura, se debe primordialmente a la falta de humedad en el ambiente y a la buena radiación solar, ambas son características del clima seco.



Gráfica 5. Oscilación térmica anual y mensual. Fuente: elaboración propia

2.3.2.2 Humedad Relativa

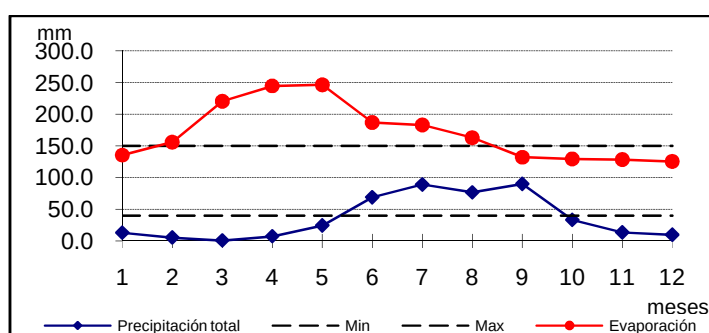
Los datos de humedad relativa a pesar de ser muy importantes, generalmente no aparecen en las normales climatológicas del país por lo que para este caso, se simularon con la hoja de cálculo “Estimación de Datos Climáticos” realizada por el Dr. Víctor Fuentes con base en algoritmos desarrollados por el Dr. Adalberto Tejeda de la Universidad Veracruzana. A dicha hoja de cálculo se le proporcionan los valores de temperatura y se obtiene como resultado los valores de humedad relativa; pues se sabe que ambas están estrechamente ligadas y que en un día típico corresponde mayor temperatura a menor humedad y viceversa. En la gráfica 6 se presentan los datos de humedad relativa de la tabla 4, donde se observa que la humedad se mantiene gran parte del tiempo en el rango de confort.



Gráfica 6. Humedad Relativa. Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, (Fuentes, 1991)

2.3.2.3 Precipitación Pluvial

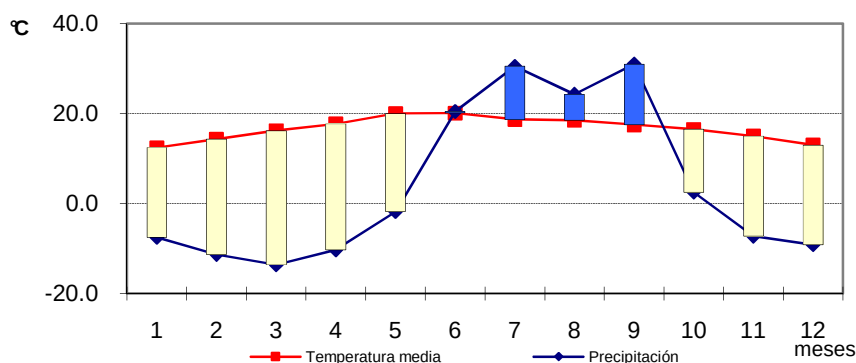
La precipitación pluvial anual de la ciudad de Guadalupe es de 431.8 mm por lo que se le considera como clima seco. Se tiene una relación inversa de la precipitación y la evaporación, que como se puede observar en los meses de mayor precipitación la evaporación es menor y a su vez la humedad relativa ligeramente más alta que en los meses secos (gráficas 6 y 7). El mes más seco es marzo en el que se tiene, en promedio, menos de 1mm de precipitación y una máxima registrada de 5.1mm.



Gráfica 7. Precipitación y evaporación

Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, (Fuentes, 1991)

En la gráfica ombrotérmica (gráfica 8) se observa claramente un periodo de lluvias y un periodo de secas; el periodo de lluvias abarca los meses de junio a septiembre, meses en los que existe un nivel de precipitación medio (entre 40 y 150 mm); la suma de estos cuatro meses representa una precipitación de 324.5 mm, lo que constituye el 75% de la precipitación total anual.

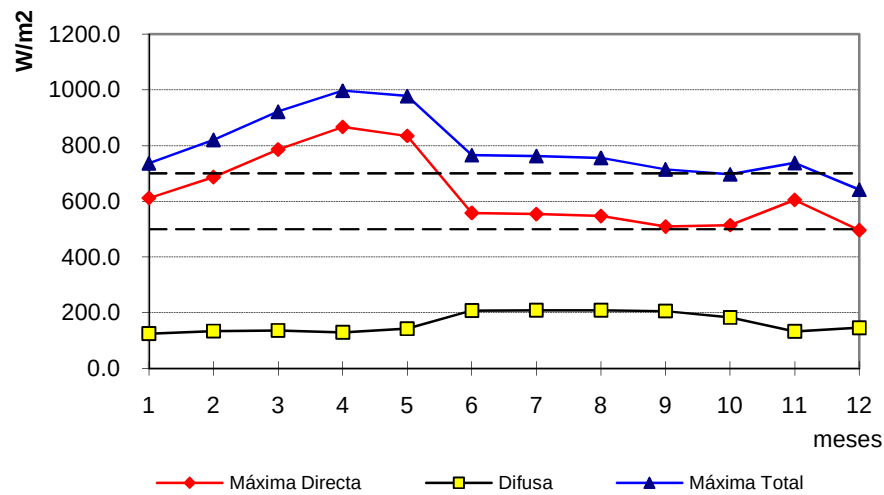


Gráfica 8. Índice ombrotérmico

Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, (Fuentes, 1991)

2.3.2.4 Radiación solar

Para este análisis climático, la radiación solar se tomó de los mapas mensuales desarrollados por Fernández Zayas y Estrada-Cajigal (1983) para radiación máxima total y máxima directa. En la ciudad de Guadalupe, la radiación solar promedio es de 794 W/m^2 (gráfica 9); se presenta radiación solar alta la mayor parte del año, a excepción de los meses de octubre y diciembre en los que ésta es más baja (menos de 700 W/m^2). El mes de abril tiene la radiación promedio más alta: 997 W/m^2 .



Gráfica 9. Radiación solar en Guadalupe
Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, (Fuentes, 1991)

2.3.2.5. Viento

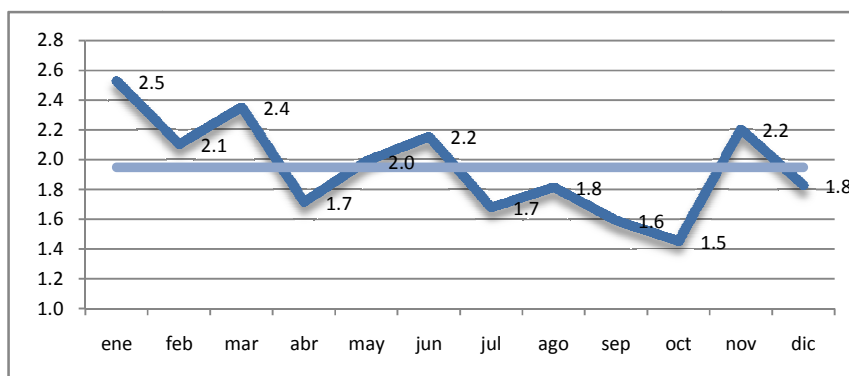
Para los datos de viento se recurrió al Atlas del Agua de la República Mexicana (1976), se utilizaron los datos de la ciudad de Zacatecas debido a que no se cuenta con los de Guadalupe. En la tabla 5 se presentan las características del viento: dirección, frecuencia y velocidad del viento para todos los meses del año y su promedio anual. El viento es un elemento disipador de calor, por lo que se utiliza como estrategia de diseño de enfriamiento en tiempo de calor, sin embargo en tiempo de frío representa una condicionante de diseño para el clima abordado.

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	prom.	máx.
ENERO	f	0.8	3.2	3.5	7.6	12.1	46.1	2.7	4.1	20.0		
	v	2.5	2.3	3.1	2.4	3.1	2.5	2.6	1.7		2.5	3.1
FEBRERO	f	1.1	4.1	6.1	10.1	17.8	46.4	1.3	0.0	11.1		
	v	0.8	1.8	2.2	2.6	3.9	3.9	1.6	0.0		2.1	3.9
MARZO	f	1.5	1.1	5.4	0.8	30.0	45.8	1.0	1.8	12.3		
	v	2.2	1.1	2.4	2.0	3.4	5.1	0.8	1.8		2.4	5.1
ABRIL	f	0.0	2.7	2.0	0.3	21.8	55.1	3.8	4.2	10.3		
	v	0.0	1.3	1.5	0.1	2.3	4.2	2.8	1.5		1.7	4.2
MAYO	f	1.8	15.7	7.6	2.4	13.6	34.1	3.7	4.2	16.8		
	v	1.3	2.0	1.9	1.0	2.7	3.4	1.7	1.9		2.0	3.4
JUNIO	f	2.7	19.4	21.0	17.3	4.0	19.4	0.9	2.6	12.7		
	v	0.9	2.9	3.5	2.3	1.9	1.8	1.6	2.3		2.2	3.5
JULIO	f	1.1	18.9	37.1	17.8	3.1	6.5	1.6	2.3	11.8		
	v	1.3	2.4	2.7	1.4	1.8	1.0	1.0	1.8		1.7	2.7
AGOSTO	f	0.7	25.1	34.5	19.2	1.6	3.9	0.3	2.7	11.9		
	v	1.2	3.4	3.5	2.2	0.7	1.9	0.1	1.5		1.8	3.5
SEPTIEMBRE	f	2.5	22.2	36.0	2.4	1.9	3.2	0.3	0.9	8.3		
	v	2.0	2.4	2.8	1.6	1.3	1.5	0.1	1.0		1.6	2.8
OCTUBRE	f	1.0	26.2	19.7	15.2	5.2	22.9	0.3	1.3	8.7		
	v	0.6	2.7	3.0	1.2	1.6	1.5	0.4	0.6		1.5	3.0
NOVIEMBRE	f	1.3	13.2	12.5	10.8	18.3	27.2	2.5	4.3	10.0		
	v	0.8	3.1	2.2	2.1	3.1	2.8	1.6	1.9		2.2	3.1
DICIEMBRE	f	0.3	11.5	13.9	3.3	19.1	36.4	3.1	0.0	12.6		
	v	0.4	2.1	2.1	1.0	2.3	3.6	3.1	0.0		1.8	3.6
											1.9	5.1
ANUAL	f	1.2	13.6	16.6	8.9	12.4	28.9	1.8	2.4	14.2		
	v	1.2	2.3	2.6	1.7	2.3	2.8	1.5	1.3		1.9	2.8

Tabla 5. Datos de viento, dirección, frecuencia y velocidad.

Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, (Fuentes, 1991)

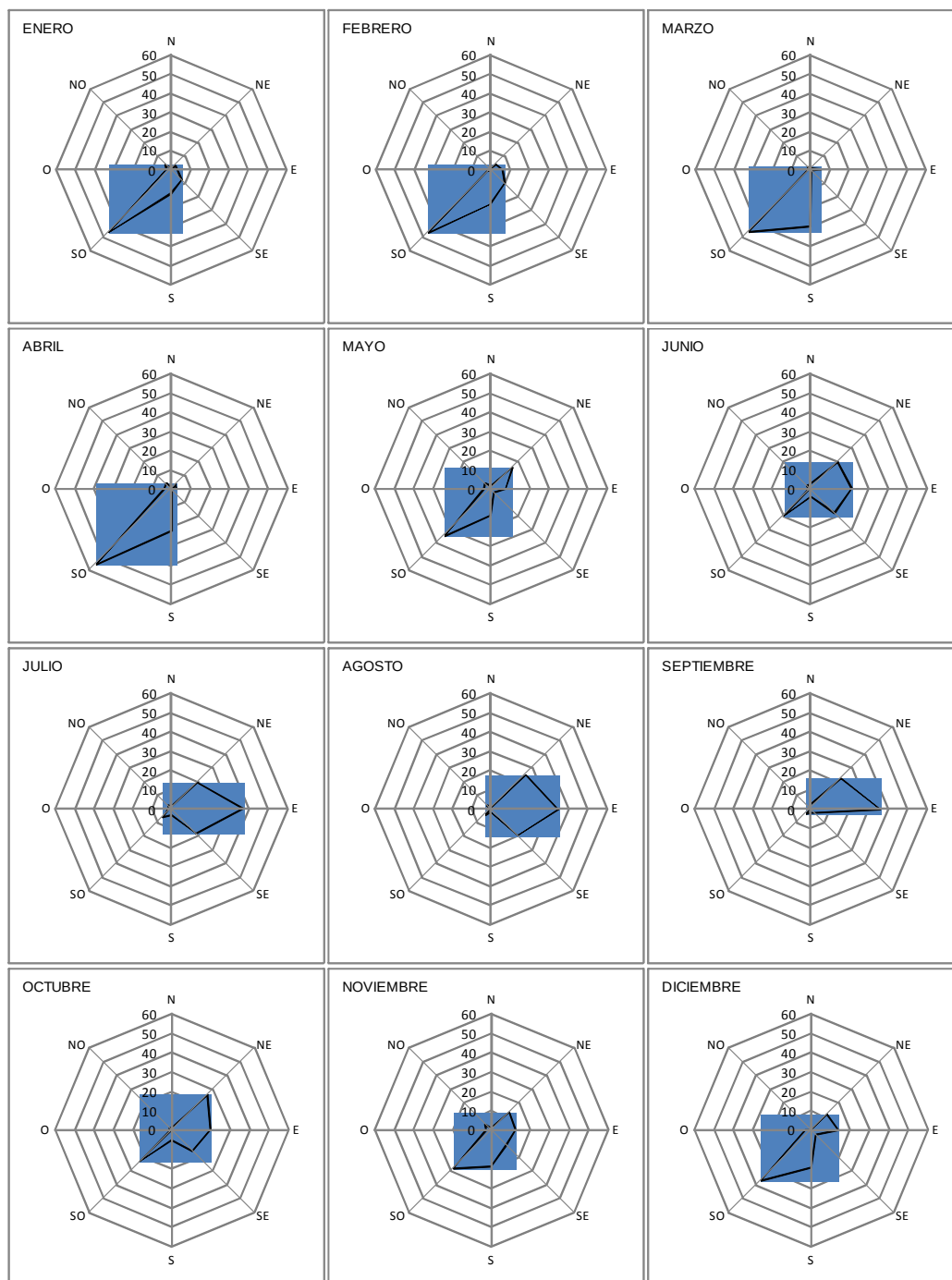
Como se observa, la velocidad promedio anual es 1.9 m/s, sin embargo ésta varía entre 2.5 m/s en enero y 1.5 m/s en octubre. En la gráfica 10 se ilustra la velocidad del viento durante los meses del año con respecto al promedio anual. El promedio anual de la velocidad es de 1.9m/s, presentando las mayores velocidades en los meses de enero, marzo, junio y noviembre.



Gráfica 10. Velocidad de viento en m/s, promedio mensual y anual

Fuente: elaboración propia

La frecuencia del viento se ilustra en la gráfica 11. En este caso, los vientos dominantes provienen del suroeste, sin embargo en los meses de junio a septiembre son más frecuentes en dirección este, también de mayo a octubre existen vientos frecuentes del noreste.



Gráfica 11. Frecuencia de viento. Fuente: elaboración propia

2.3.3 Definición de principales estrategias de diseño

El propósito de la caracterización climática dentro de la arquitectura, es la comprensión del clima con sus factores y elementos para la determinación de estrategias de diseño que se apliquen directamente en el proyecto arquitectónico con el fin de lograr condiciones de confort para los usuarios con el menor impacto ambiental y la menor dependencia de la energía convencional. Los factores y elementos se abordaron por separado, sin embargo, se relacionan entre sí, debido a que los elementos dependen directamente de los factores y así mismo, la variación de un elemento afecta directamente a los otros. Olgyay (2006) sugiere que “las soluciones arquitectónicas a los diferentes problemas climáticos concretos deben tener en cuenta el conjunto de todos ellos, de esta forma se logrará una estructura climáticamente equilibrada” (p. 32).

En esta sección, se lleva a cabo el análisis climático relacionándolo directamente con la percepción del usuario en términos de confort, para finalmente concretar en estrategias de diseño que se adecúen a la ciudad de Guadalupe. Se utilizan criterios de varios autores que han sugerido distintos, pero concordantes, rangos de confort higrotérmico y estrategias de diseño.

2.3.3.1 Carta Bioclimática

Según Olgyay (2006) “la evaluación bioclimática es el punto de partida para cualquier proyecto arquitectónico que aspire a proporcionar un entorno climático equilibrado” (p. 23). Bajo esta consideración, los hermanos Olgyay desarrollaron un diagrama bioclimático en el que establecen una zona de confort en función de la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa ambiente. Existen algunas críticas por la simplicidad de dicho diagrama y porque según varios autores, ofrece pocas estrategias de diseño. Considero, sin embargo, que es una herramienta útil para concentrar en tres criterios de diseño (radiación solar, humidificación y ventilación) las tendencias primordiales de diseño bioclimático que seguirá un proyecto.

De acuerdo a la temperatura media anual, Auliciems establece la temperatura neutra, misma que Szokolay utiliza como el punto de equilibrio térmico (Figueroa & Fuentes, 1989). El ajuste de la carta bioclimática para cualquier clima es mediante la alineación de la temperatura neutra con la temperatura de bulbo seco y una actividad metabólica ligera de 130W (una de las ventajas de esta carta es que se puede variar la actividad metabólica de acuerdo a las

necesidades). Para el caso de la ciudad de Guadalupe la temperatura neutra anual es de 22.8°C. El diagrama se graficó (figura 6) con base en datos horarios calculados que aparecen más adelante (tabla 7 y 8), considerando las temperaturas y humedades extremas durante el día, que teóricamente son a las 6 de la mañana y 3 de la tarde.

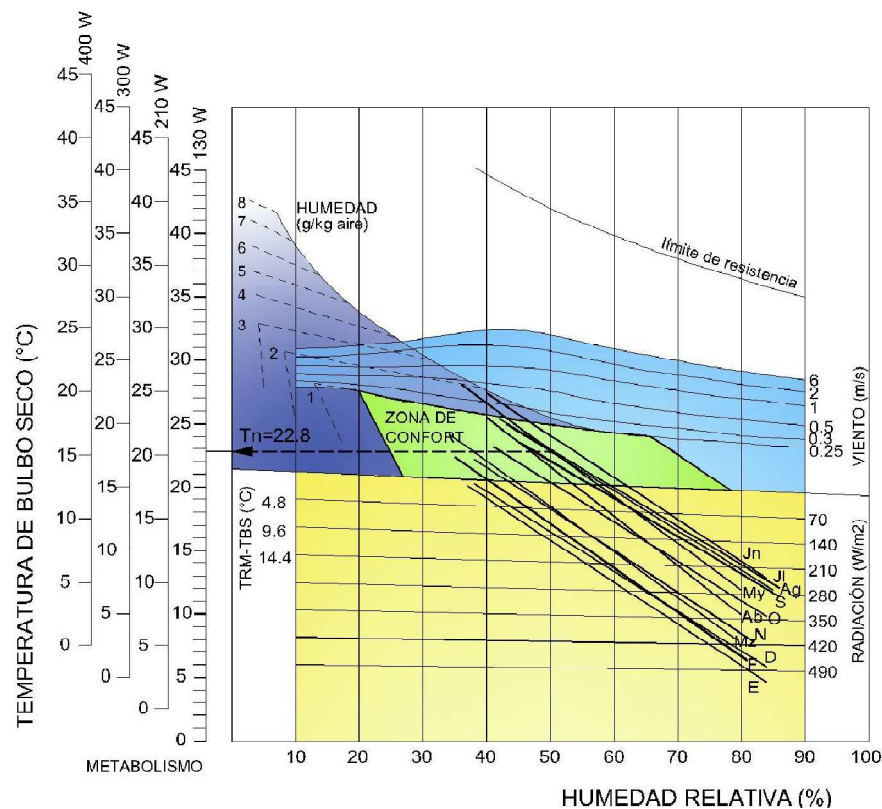


Figura 6. Carta Bioclimática, Guadalupe, Zacatecas (1971-2000)

Se observa, que para la ciudad de Guadalupe se requiere exposición a la radiación solar durante las primeras horas del día a lo largo del año. En los meses de diciembre y enero existe disconfort durante todo el día, y de la misma manera el criterio propuesto es de ganancia por radiación solar, sin embargo la carta bioclimática propone ganancias por radiación solar durante las primeras horas del día (hasta de 490 W/m²), horas en las que la radiación solar es prácticamente nula, lo que de acuerdo a estos criterios de diseño sería imposible lograr condiciones de confort, por lo que habrá que integrar el análisis de la carta bioclimática con propuestas de otros autores. Así mismo se observa que la mayor parte del año se alcanza la

zona de confort durante algunas horas de la tarde, incluso existe sobrecalentamiento en los meses de mayo y junio, para los cuales se propone ventilación, humidificación y sombreado.

Se aprecia en la carta bioclimática, que los meses más fríos (noviembre a marzo) se agrupan en la parte de abajo de la misma, es decir que presentan requerimiento de radiación solar; en contraste con los meses más calurosos (mayo a septiembre) que se agrupan nuevamente y quedan dentro de las estrategias de ventilación, humidificación y radiación; al centro quedan los meses de abril y octubre que, como se aprecia, son los meses de transición para el periodo cálido en el primer caso y para el frío en el segundo.

2.3.3.2 Carta Psicrométrica

Dentro de la arquitectura bioclimática la psicrometría, que es el estudio de todas las propiedades termodinámicas del aire (Fuentes, 2004), resulta de gran utilidad. En la década de los setenta, Baruch Givoni propone un método en el que determina una zona de confort y zonas de estrategias sobre un diagrama psicrométrico (García, 2000) con base en la temperatura y humedad del aire. Szokolay hace una adecuación al método inicial de Givoni, en el que varía ciertos rangos de las zonas de estrategias, así mismo establece una zona de confort para invierno y una para verano. Para este análisis se toma en cuenta dicha adecuación.

La principal estrategia de diseño que se obtiene, para el caso de estudio propuesto, al igual que en la carta bioclimática, es el calentamiento. Givoni presenta dos opciones de calentamiento, el solar pasivo y el activo, ya sea solar, convencional o híbrido. De acuerdo con Szokolay, para el caso de Guadalupe, el calentamiento activo sería necesario con menos de 11°C, parte en la que se retoma la hipótesis de este trabajo en la que se sugiere que para esta ciudad, el calentamiento activo no es indispensable.

Otras estrategias que se sugieren son, para el periodo invernal la masa térmica, misma que haría más eficiente la energía ganada a través de la exposición al sol; para el tiempo de calor más intenso (meses de mayo y junio) la estrategia que se plantea es nuevamente la masa térmica. Concretamente, el calentamiento solar combinado con la masa térmica, resultan estrategias muy adecuadas para esta ciudad de acuerdo con la carta psicrométrica.

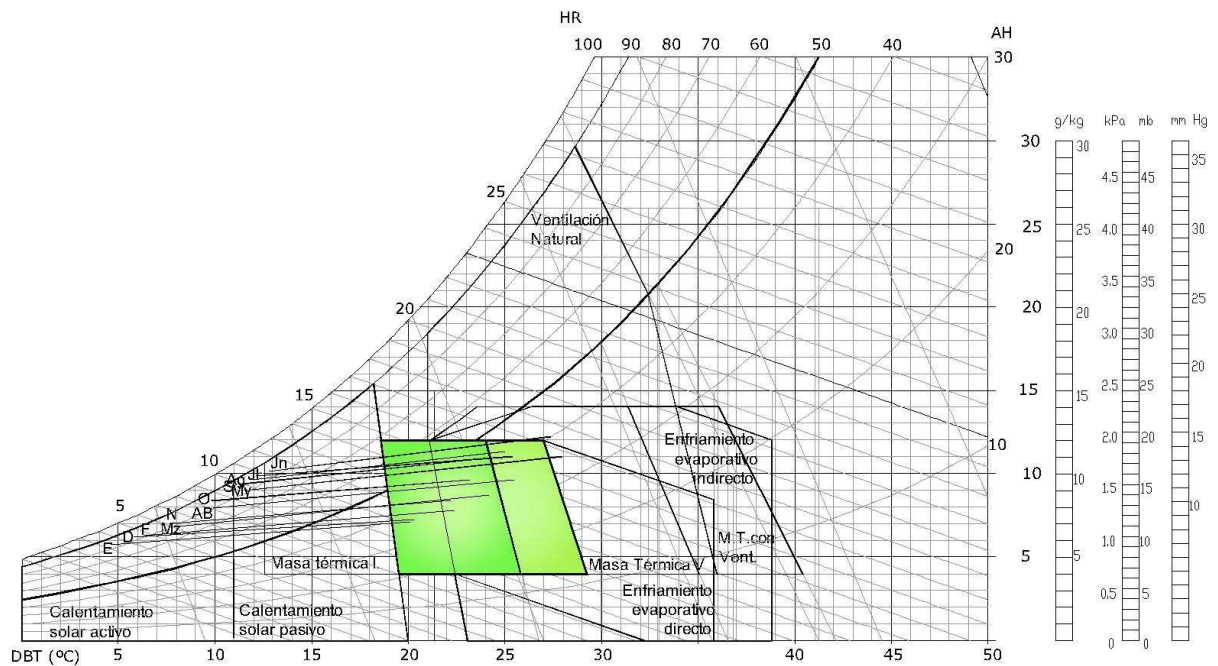


Figura 7. Carta Psicrométrica, Guadalupe, Zac. (1971-2000)

2.3.3.3 Triángulos de confort

Existe una aportación de Martín Evans para el análisis climático que se ocupa de la oscilación térmica, la cual resulta de la resta de la temperatura normal máxima y la mínima de cada mes. Este nomograma se basa en la amplitud térmica debido a que la temperatura media no revela la variación que un clima puede tener y qué tan extremo es. Los triángulos de confort relacionan la temperatura media en el eje de las abscisas y la oscilación térmica en el de las ordenadas.

Como se mencionó anteriormente, la oscilación térmica es un aspecto relevante en el clima de Guadalupe, debido a que constantemente ésta es muy pronunciada. Las estrategias que delimita este diagrama son nuevamente la inercia térmica y las ganancias solares. Se advierte también que los meses de enero y febrero no entran a las zonas de confort establecidas por Evans y el resto de los meses se encuentran en confort siempre y cuando exista cierta actividad metabólica como la provocada por la circulación. En la figura 8 se muestran los triángulos de confort: del lado izquierdo las zonas de confort térmico y del lado derecho las estrategias de diseño propuestas.

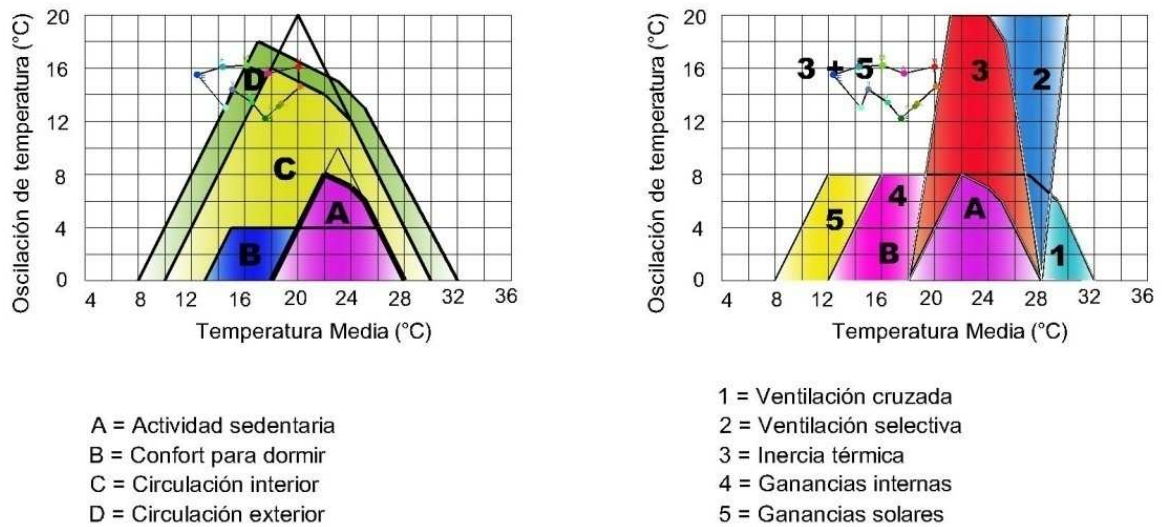


Figura 8. Triángulos de confort (1971-2000)

2.3.3.4 Temperatura Efectiva Corregida

El diagrama de temperatura efectiva corregida muestra la percepción de la temperatura al relacionarla con la aceleración del viento, la temperatura radiante media y la temperatura de bulbo húmedo. Esta última siempre es más baja que la temperatura de bulbo seco, a menos de que el aire esté saturado de humedad, caso en el cual serán muy parecidas. Con lo anterior, se explica el hecho de que se perciban temperaturas más bajas por la acción de la humedad y la velocidad de viento. Esto se puede utilizar como estrategia de diseño para los meses de sobrecalentamiento, sin embargo para un clima semifrío como en este caso, es conveniente saber que la percepción de la temperatura generalmente será más baja de lo que marca el termómetro.

La zona de confort que se muestra en el nomograma de temperatura efectiva corregida, tiene un rango de 20 a 25°C con velocidades de viento hasta 1.5 m/s, debido a que a mayor velocidad se puede complicar el desempeño de las actividades normales. Se observa en la figura 9 que, al graficar la temperatura media con la de bulbo seco, todos los meses se encuentran fuera de la zona de confort, por debajo del límite inferior de la misma.

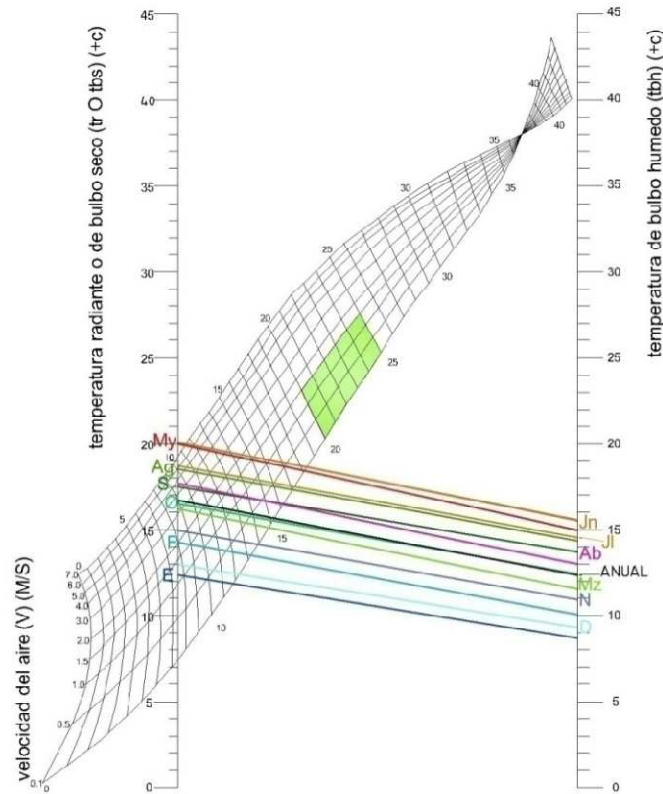


Figura 9. Temperatura efectiva corregida

2.3.3.5 Indicadores de Mahoney

Mahoney crea estrategias en función de la humedad relativa y posteriormente la temperatura, además considera oscilación térmica y precipitación pluvial para sus estrategias. Ofrece estrategias o indicadores más específicos que los autores anteriores.

De acuerdo a estos indicadores, la principal estrategia recomendada para esta ciudad es la inercia térmica; para los meses de enero y diciembre sugiere protección contra el frío en contraste con los casos anteriores, Mahoney no utiliza la radiación solar como estrategia propiamente debido a que sus tablas están diseñadas para clima tropical. Los indicadores de Mahoney, como se puede apreciar en la tabla 6, para este caso recomiendan: configuración compacta, concepto de patio compacto, vanos del 10 al 20% con respecto al macizo, sombreado total y permanente en las aberturas, y masividad con retardo térmico mayor a 8 horas tanto en la cubierta como en los muros.

INDICADORES DE MAHONEY												TOTAL
Ventilación esencial												0
Ventilación deseable												0
Protección contra lluvia												0
Inercia Térmica	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Espacios exteriores nocturnos												0
Protección contra el frío	1										1	2
INDICADORES DE MAHONEY												
1	2	3	4	5	6	no.		Recomendaciones				
0	0	0	12	0	2							
Distribución				1			1					
						1	1	Concepto de patio compacto				
Espaciamiento							3					
							4					
	1						1	Configuración compacta				
Ventilación							6					
				1			7					
	1	1					8	Ventilación NO requerida				
							1					
Tamaño de las Aberturas						1	9					
							10					
							11					
				1		1	12	Muy Pequeñas 10 - 20 %				
							13					
Posición de las Aberturas							14					
	1			1			15					
Protección de las Aberturas						1	1	Sombreado total y permanente				
							17					
Muros y Pisos							18					
				1			1	Masivos -Arriba de 8 h de retardo térmico				
Techumbre							20					
				1			21					
	1			1			1	Masivos -Arriba de 8 h de retardo térmico				
Espacios nocturnos exteriores							23					
							24					

Tabla 6. Indicadores de Mahoney. Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, (Fuentes, 1991)

2.3.3.6 Análisis horario. Temperatura y humedad relativa

A continuación se presenta un análisis horario, establecido de acuerdo a la temperatura media de cada mes y a una curva sinusoidal en la que se parte de que el punto más frío es a las 6 de la mañana y el más caliente a las 3 de la tarde, considerando también que la humedad relativa es inversa a la temperatura. A partir de esto se puede determinar la temperatura del resto de las horas, lo cual permite tener una idea muy acertada del comportamiento diario de la misma.

Como se mencionó anteriormente la temperatura neutra anual en Guadalupe es de 22.8°C por lo que, de acuerdo con los criterios establecidos por Auliciems y Szokolay (Mayorga & Morales, 2003) el rango de confort oscila entre 20.3 a 25.3°C. Lo que queda abajo el límite inferior de la zona de confort se considera con requerimientos de calentamiento, que en este caso se presenta de manera ininterrumpida de las 23 a las 10hrs a lo largo de todo el año; arriba del límite superior se considera sobrecalentamiento por lo que hay necesidad de disminuir la temperatura, lo cual es necesario para las horas de las 13h a las 18h en los meses de mayo y junio (tabla 7).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PRO
8.5	7.2	6.1	5.3	4.8	4.6	5.1	6.4	8.5	11.1	13.8	16.3	18.3	19.6	20.1	19.9	19.4	18.6	17.6	16.3	14.8	13.3	11.7	10.1	12.4
10.3	8.9	7.8	7.0	6.5	6.3	6.8	8.1	10.3	12.8	15.6	18.3	20.5	21.9	22.4	22.2	21.7	20.8	19.7	18.3	16.7	15.1	13.4	11.8	14.3
12.2	10.8	9.7	8.8	8.3	8.1	8.6	10.0	12.2	14.9	17.7	20.2	22.3	23.7	24.2	24.0	23.5	22.7	21.6	20.2	18.7	17.1	15.4	13.8	16.2
13.8	12.5	11.4	10.6	10.1	9.9	10.4	11.7	13.8	16.3	19.1	21.6	23.7	25.0	25.5	25.3	24.8	24.0	22.9	21.6	20.1	18.5	16.9	15.3	17.7
16.0	14.6	13.5	12.6	12.1	11.9	12.4	13.8	16.0	18.7	21.5	24.0	26.1	27.5	28.0	27.8	27.3	26.5	25.4	24.0	22.5	20.9	19.2	17.6	20.0
16.5	15.2	14.2	13.4	13.0	12.8	13.2	14.5	16.4	18.8	21.4	23.7	25.7	27.0	27.4	27.2	26.8	26.0	25.0	23.8	22.4	20.9	19.3	17.8	20.1
15.4	14.3	13.3	12.7	12.2	12.1	12.5	13.6	15.4	17.5	19.8	22.0	23.8	25.0	25.4	25.3	24.8	24.1	23.2	22.0	20.7	19.3	17.9	16.6	18.7
15.2	14.1	13.2	12.5	12.0	11.9	12.3	13.5	15.2	17.4	19.7	21.8	23.5	24.6	25.0	24.9	24.4	23.8	22.9	21.8	20.6	19.3	17.9	16.5	18.5
14.5	13.4	12.6	11.9	11.5	11.4	11.8	12.8	14.4	16.4	18.6	20.5	22.2	23.2	23.6	23.5	23.1	22.4	21.6	20.6	19.4	18.1	16.9	15.6	17.5
13.2	12.0	11.1	10.4	9.9	9.8	10.2	11.4	13.1	15.3	17.7	19.8	21.6	22.8	23.2	23.1	22.6	21.9	21.0	19.9	18.6	17.2	15.8	14.4	16.5
11.4	10.2	9.2	8.4	8.0	7.8	8.2	9.5	11.4	13.7	16.2	18.6	20.5	21.8	22.2	22.0	21.6	20.8	19.8	18.6	17.2	15.8	14.2	12.8	15.0
9.4	8.2	7.2	6.4	6.0	5.8	6.2	7.5	9.4	11.7	14.2	16.6	18.6	19.9	20.3	20.1	19.7	18.9	17.9	16.6	15.2	13.7	12.2	10.7	13.0
13.0	11.8	10.8	10.0	9.5	9.4	9.8	11.1	13.0	15.4	17.9	20.3	22.2	23.5	23.9	23.8	23.3	22.6	21.5	20.3	18.9	17.4	15.9	14.4	16.7

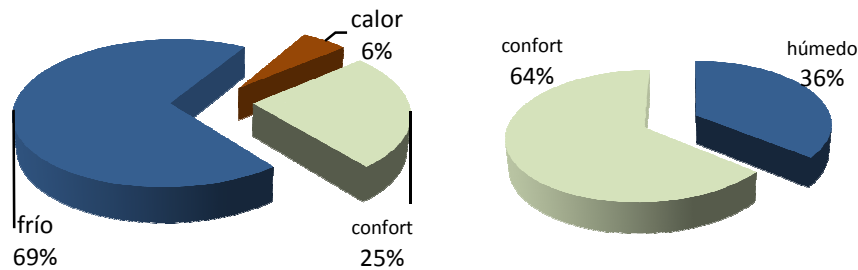
Tabla 7. Análisis horario de temperatura. Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, Fuentes.

Para el caso de la humedad relativa, el rango de confort se establece entre 30 y 70%. Se aprecia en la tabla 8, que de 2 a 8hrs existe gran cantidad de humedad en el ambiente, sin embargo durante el día la humedad relativa se encuentra en confort.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PRO
72	76	79	82	83	84	82	78	72	64	56	48	42	38	37	37	39	41	44	48	53	58	63	68	60
69	73	77	79	81	81	80	76	69	62	54	46	40	36	35	35	37	39	42	46	51	55	60	65	58
68	72	75	77	79	79	78	74	68	61	53	45	40	36	34	35	36	39	42	45	50	54	59	64	57
69	73	76	78	80	80	79	75	69	62	54	47	41	37	36	36	38	40	43	47	51	56	60	65	58
69	73	76	78	80	80	79	75	69	62	54	47	41	37	36	36	38	40	43	47	51	56	60	65	58
73	77	80	82	83	84	83	79	73	66	58	51	45	41	40	40	41	44	47	51	55	59	64	69	62
75	78	81	84	85	86	84	80	75	68	60	53	47	44	42	43	44	46	49	53	57	62	66	71	64
74	78	81	83	84	85	84	80	74	67	60	53	48	44	43	43	44	47	50	53	57	62	66	70	64
76	79	82	84	86	86	85	81	76	69	62	55	50	46	45	45	46	49	52	55	59	63	68	72	65
73	76	79	82	83	84	82	79	73	66	58	51	46	42	41	41	43	45	48	51	56	60	64	69	62
71	75	78	80	82	82	81	77	71	64	56	49	43	39	38	39	40	42	45	49	53	58	62	67	60
73	77	80	82	84	84	83	79	73	65	57	50	44	40	38	39	40	43	46	50	54	59	64	68	61
72	76	79	81	82	83	82	78	72	65	57	50	44	40	39	39	41	43	46	50	54	58	63	68	61

Tabla 8. Análisis horario de humedad relativa. Fuente: hoja de cálculo: Análisis Climático, Fuentes.

De acuerdo con las temperaturas y humedades horarias anteriores, en la gráfica 12 se presentan en porcentaje, las horas de confort térmico, de frío y de calor; así como el porcentaje de las horas de confort y desconfort higrométrico.



Gráfica 12. Porcentajes, datos horarios de temperatura y humedad

2.3.3.7 Estrategias de diseño bioclimático

De acuerdo a lo anterior, se resumen las principales estrategias de diseño para la ciudad de Guadalupe:

- 1) Ganancia solar directa, por lo que la orientación sur resulta muy conveniente
- 2) Control solar en las tardes de los meses de mayo y junio
- 3) Masividad e inercia térmica, misma que depende directamente de los materiales de la envolvente, en consecuencia se recomiendan muros y cubiertas masivas
- 4) Relación del vano y macizo de hasta el 20%, con orientación de los vanos preferentemente hacia el sur
- 5) Ventilación unidireccional en las tardes de los meses cálidos, la cual proviene de la orientación SO y E
- 6) Control de la infiltración, ya que es una zona con velocidades de viento altas
- 7) Configuración compacta.

2.3.3.8 Principios bioclimáticos

Se entiende por principio “concepto, idea fundamental que sirve de base a un orden determinado de conocimientos o sobre la que se apoya el razonamiento”; de igual forma el término criterio implica un “juicio o discernimiento”, el discernimiento a su vez se refiere a la

distinción de una cosa y otra señalando las diferencias (Larousse, 2000). En esta tesis se habla de principios y criterios bioclimáticos en contraste con lo convencional.

Si la arquitectura bioclimática involucra el confort térmico, higrométrico, lumínico, acústico y olfativo, se plantea que una vivienda bioclimática debiera satisfacer todos estos requerimientos; sin embargo en esta investigación se dejaron fuera del confort ambiental lo referente a confort olfativo y confort acústico, se analizó el confort lumínico y en mayor proporción el confort higrométrico y el térmico. Es decir, se evaluaron varios de los parámetros planteados por la arquitectura bioclimática pero no todos, en ese sentido, no se puede hablar de vivienda bioclimática.

El término principio o criterio bioclimático, en esta investigación, se referirá a alguna característica de diseño bioclimático que asemeje una vivienda a lo que idealmente debiera ser una vivienda bioclimática, sin embargo como se verá en la parte de búsqueda de vivienda no se encontró para la ciudad de Guadalupe, Zacatecas una vivienda bioclimática como tal, por lo que se utilizó el término de “vivienda con principios bioclimáticos”.

De acuerdo con las estrategias bioclimáticas planteadas anteriormente los principios bioclimáticos que se incluyeron en la búsqueda de viviendas son orientación de la fachada principal en el rango sur, materiales de construcción masivos tanto en la cubierta como en los muros, proporción del vano y el macizo alrededor de 20%, configuración compacta.

2.4 Criterios de comparación de los casos de estudio

2.4.1 Comparación

Se define comparación como la acción de “examinar dos o más cosas para descubrir sus relaciones, diferencias o semejanzas” (Larouse, 2000). La comparación tiene como objetivo establecer una relación entre las partes que se confrontan, conocer en qué magnitud algunos de sus elementos son semejantes o en qué medida sus elementos son diferentes.

En esta tesis se llevó a cabo una comparación en términos de confort en la que se buscaron dentro de dos viviendas, diferencias y semejanzas en sus características físicas para posteriormente, y como resultado de esta investigación, poder comparar el funcionamiento de

una vivienda con respecto a la otra incluyendo los costos de inversión, operación y rentabilidad de cada una de ellas.

2.4.2 Justificación de la comparación de los casos de estudio

Para realizar este análisis comparativo, desde el proceso de selección de los casos de estudio, se tuvieron en cuenta los criterios de comparación que se aplicarían, considerando los aspectos que deberían ser semejantes o distintos dentro de las viviendas a seleccionar. Para lo anterior se atendió a varias aportaciones relacionadas con conceptos como comparación, semejanza, igualdad, similitud, coherencia, analogía, entre otros.

Existen leyes y teorías de semejanza en varias disciplinas y con muy diversas aplicaciones, por ejemplo: existe semejanza en triángulos de misma forma pero de diferente tamaño, ya que conservan la misma proporción (Brenes, Gamboa, Páez, Ramírez, & Villafuerte); el concepto de semejanza en matemáticas está muy ligado al concepto de proporcionalidad es decir que, matemáticamente “dos objetos son semejantes si ‘guardan’ una proporción entre ellos”, sin embargo para que sean semejantes (desde el punto de vista matemático) no necesariamente tienen que ser iguales (Brenes, et al.), por ejemplo las medidas a escala de un plano arquitectónico con las medidas reales de la obra; así mismo, existen en ingeniería escalas de semejanza para modelos físicos con los que se lleva a cabo algún experimento que, mediante la teoría de semejanza, se puede determinar qué proporción tienen con respecto al prototipo real (Martínez, 1997); se encontró que existe también una ley de semejanza con aplicación en mercadotecnia como estrategia competitiva; o en comunicación visual donde se incorpora el concepto de analogía entendido como una idea de igualdad que presenta diversos grados de precisión (Martínez, 1997); entre otros.

Retomando algunos de los estudios más antiguos sobre la justificación de lo que significa el concepto de semejanza se expondrá a quien algunos consideran el culmen de la antigüedad, Aristóteles; quien afirma que hay tres maneras como las diferentes cosas están relacionadas entre sí: al modo de identidad, al modo de semejanza y al modo de igualdad.

Cuando dos o más cosas comparten las mismas características, como por ejemplo la forma, el color, la estructura, etc., se dice que comparten cualidades, y eso las hace semejantes; en cambio, cuando comparten únicamente el número o la cantidad: lo que relaciona tres cristales

con tres vanos, lo que tienen en común es la cantidad y eso las hace no semejantes sino iguales, es decir que se relacionan por igualdad; pero si dos cosas se relacionan entre sí compartiéndolo todo: características, cantidad, etc., prácticamente son la misma cosa, entonces se habla no de igualdad o semejanza, sino de algo más radical: identidad, es decir, unidad por la sustancia. Lo idéntico en sustancia es imposible pues no hay dos objetos idénticos (Aristóteles, traducido en 1998).

Aplicando lo anterior a esta investigación, propiamente a la selección de los casos de estudio, se considera que únicamente se podría hablar de identidad si se parte de que se aborda una comparación entre dos viviendas, en cuanto que la identidad sólo es asumida en concepto, es decir: se confrontan dos casas unifamiliares.

Consecuentemente se buscaron parámetros de semejanza y de igualdad, es decir que se consideraron elementos cuantitativos (iguales) y cualitativos (semejantes) dentro del experimento. En la tabla 9, se resumen dichos conceptos con aplicación a esta investigación.

Lo que se identifica en SUSTANCIA → IDENTIDAD ≠ diverso	Es imposible comparar cosas idénticas porque no existen	Se comparan dos viviendas unifamiliares
Lo que se identifica en CANTIDAD → IGUALDAD ⁵ ≠ diferente	Se refiere a los aspectos cuantitativos	mismo clima y bioclima
		misma distancia con respecto a estación meteorológica
		área
		volumen
		número de pisos
Lo que se identifica en CUALIDAD → SEMEJANZA ≠ distinto	Se refiere a los aspectos cualitativos	número de usuarios
		ubicación en la misma ciudad
		localización dentro de la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe que la distancia entre la vivienda A y B, fuera menor que la distancia entre las viviendas y la estación meteorológica

⁵ Varios de los aspectos cuantitativos de esta tesis (área, volumen, distancia, número de usuarios) se ubicaron en cierto rango de igualdad que se verá en la descripción de cada caso de estudio, por lo que las cantidades no son exactamente las mismas.

		teóricamente las mismas condiciones atmosféricas
		que se encontraran en funcionamiento
		que tuvieran usos y costumbres propios de una vivienda
		espacios similares (mismo número de recámaras, baños, sala, comedor, etc.)
		altura de entrepiso similar

Tabla 9. Criterios de comparación de los casos de estudio

Las características de igualdad, es decir las que pueden ser cuantificables, que se consideraron para ambos casos de estudio, fueron: que estuvieran en el mismo clima, que la distancia de ellas con respecto a la estación climatológica que se utilizaría fuera igual, que la distribución para cada una de ellas constara de dos niveles, que las dimensiones estuvieran en un rango de diferencia equiparable, que el número de usuarios fuera lo más acercado posible de una vivienda a otra y que las dimensiones de ambas casas fueran equivalentes o cercanas.

Las características de semejanza que se buscaron dentro de los casos de estudio fueron: que se encontraran en la ciudad de Guadalupe, Zacatecas dentro de la zona conurbada; que la distancia entre ambos casos de estudio no fuera mayor que la distancia de las viviendas y la estación meteorológica a fin de que las condiciones atmosféricas fueran las mismas; dentro de cada vivienda se buscó que se contara con alturas de entrepiso en un rango aceptable; que la distribución de cada una de las plantas tuviera cualitativamente espacios similares (igual número de recámaras, baños, sala, comedor, etc.).

Varios de los elementos tanto cuantitativos como cualitativos que se consideraron como principios o características bioclimáticas, se analizaron por separado, ya que se buscó que existiera diferencia en algunos de estos aspectos, debido a que en su origen y teóricamente son los que diferencian una vivienda bioclimática de una vivienda común. En la parte siguiente del capítulo, atendiendo a los párrafos anteriores, se desglosan dichos elementos y características de cada vivienda seleccionada, al final se muestra una tabla que permite relacionar una vivienda con la otra.

2.5 Selección de los casos de estudio

Los puntos anteriores de este capítulo convergen en un fin común, el cual fue determinar las principales características y consideraciones para la selección de las viviendas que serían los casos de estudio de esta investigación. Una vez establecidas las estrategias primordiales de diseño propias para este clima, se hizo una amplia búsqueda de viviendas, dentro de la cual se iban descartando varias opciones por no contar con alguna de las características indispensables.

Algunos de los requerimientos iniciales fueron localizar viviendas de dos niveles, cercanas entre sí, calificadas por los usuarios como confortables y no confortables según fuera el caso, orientación en el rango sur para la vivienda bioclimática y orientación opuesta para la vivienda convencional; se requería total control del experimento por lo que debían ser viviendas de personas de relativa cercanía que permitieran realizar un monitoreo constante durante varios meses dentro de sus casas, así como permitir el acceso a sus recibos de consumo de energía eléctrica de los últimos meses. En la figura 10 se muestran algunas de las viviendas que, en un principio, se consideraron para esta investigación, sin embargo se excluyeron por no cumplir con algún requisito necesario. Se pensó evaluar un conjunto habitacional construido con adobe, sin embargo se buscaban viviendas un poco más grandes para el experimento, además en la evaluación previa se percibió exceso de calor en la planta alta durante tiempo de calor debido a que la bóveda es de concreto macizo, lo cual desvirtúa el sistema constructivo de los muros.



Figura 10. Viviendas descartadas

Como se vio, dentro de la búsqueda existían otras consideraciones importantes como que el tamaño de las viviendas fuera equiparable; que el número de usuarios estuviera en un rango aceptable de diferencia debido al calor metabólico producido por cada persona y también por el impacto en la demanda de la energía eléctrica de cada usuario; además se verificó para la selección que no existiera algún problema o anomalía en la red eléctrica o en los consumos energéticos.

Una vez encontradas las viviendas con las características antes mencionadas, se inició el monitoreo. Sin embargo, a pesar de que en un principio la vivienda “con principios bioclimáticos” era considerada confortable por sus habitantes, dos meses después de la evaluación constante, se percibió que ésta presentaba oscilaciones térmicas muy severas puesto que cuenta con un gran domo en el patio central, que hace las veces de invernadero e ilumina el ambiente de manera muy agradable, sin embargo gana y pierde calor muy fácilmente. Cabe mencionar que una de las principales cualidades de esta vivienda es que cuenta con excelente ventilación. Otra consideración importante que obligó a una reconsideración de este caso de estudio, fue que una vez comenzado el experimento se alteró el uso de la vivienda y se convirtió en una especie de industria casera con la desventaja, para el experimento, de que el exceso de agua en la estufa variaba altamente la humedad relativa ambiente en el interior de la planta baja. Después de dos meses de mediciones se tomó la decisión de buscar otra vivienda que respondiera de mejor manera a lo que se había previsto. Se muestran dos imágenes del interior de dicha vivienda en la figura 11.



Figura 11. Vivienda con principios bioclimáticos descartada

Se inició una nueva búsqueda de vivienda bioclimática; de acuerdo a la encuesta realizada y mencionada al principio de este capítulo, se buscó entre las casas que eran calificadas por los usuarios como confortables térmicamente, en esta ocasión se hizo una evaluación previa de las temperaturas superficiales interiores de la planta alta y se dejó durante algunos días, en varias viviendas, termómetros de máximas y mínimas tanto en planta baja como en planta alta. Finalmente se seleccionó una vivienda nueva a la que se le dio el término de vivienda con principios bioclimáticos debido a que cuenta con elementos importantes que la asemejan a una vivienda bioclimática, sin embargo en las ciudades de Guadalupe y Zacatecas no se encontró una vivienda con todas las características que debiera tener una vivienda bioclimática como tal y que además se tuviera acceso a ella para monitorearla.

2.5.1 Localización viviendas A y B

Las viviendas seleccionadas se localizan a una distancia entre ellas de 1.3 km. La vivienda con principios bioclimáticos, que será referida durante el resto de la investigación como vivienda “A” se ubica en la colonia Arboledas; la vivienda convencional, que se denominará a partir de aquí como casa o vivienda “B” en el fraccionamiento Bernárdez, ambas en la ciudad de Guadalupe, Zacatecas. En la siguiente imagen se ubican las viviendas.

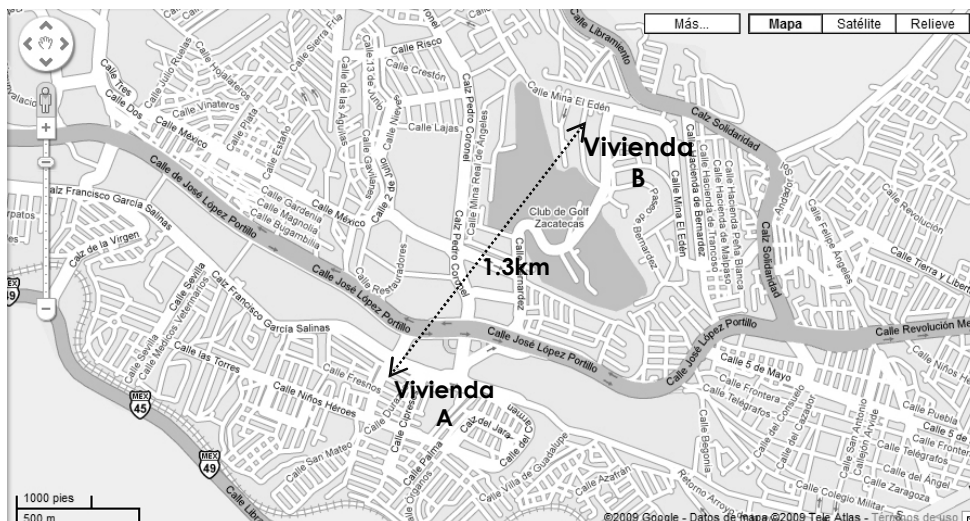


Figura 12. Localización de los casos de estudio

Fuente: <http://maps.google.com/maps?ll=22.76009,-102.53428&z=15&t=h&hl=es>

2.5.2 Caracterización vivienda A: Principios bioclimáticos

La casa propuesta con principios de diseño bioclimático, vivienda “A”, es una casa habitación unifamiliar que cuenta con 173 m² construidos distribuidos en dos niveles. La planta baja está dividida en recibidor, sala, comedor, cocina, estudio, sanitario y lavandería; en planta alta se encuentra la recámara principal con baño, dos recámaras, vestíbulo, baño y en una especie de ático sobre la recámara posterior, una pequeña bodega. La distribución de la vivienda A, se muestra en el plano arquitectónico A1 y en la figura 13 se presenta su fachada principal.



Figura 13. Vivienda con principios bioclimáticos "A"

2.5.2.1 Orientación

El desplante de la vivienda sigue la alineación del terreno, de tal manera que la orientación de su fachada principal es hacia el SSO y la posterior al NNE, se consideró que ésta era adecuada debido a que en el sur se tiene la mayor ganancia solar, sin embargo se inclinó al suroeste para que la fachada posterior fuera hacia el NE y no al NO que resultaba más inconveniente. Lo anterior pensando en que una vivienda típica en esta zona generalmente se orienta en dos direcciones y se buscó dentro de una fachada favorable que la posterior fuera menos desfavorable.

Como se vio anteriormente, los vientos dominantes provienen del suroeste durante la mayor parte del año, incluso en los meses más calurosos (mayo y junio); en un clima extremo como en este caso, se deben considerar las estrategias para tiempo de calor y para tiempo de frío, por lo que la mejor ventilación sería en un rango entre sur y oeste, la vivienda que se seleccionó

cumple con esta característica. En tiempo de frío podría representar una desventaja, sin embargo es cuestión de proteger las aberturas adecuadamente (ver plantas arquitectónicas en el plano A1).

2.5.2.2 Control solar



Figura 14. Detalle de ventana

Con respecto a control solar, esta vivienda cuenta con un remetimiento de casi 50 cm en la fachada principal (fig. 14), lo cual proporciona control solar en la planta baja, propiamente en la sala. En la figura 15 se muestra la profundidad de dicha ventana con algunos trazos de geometría solar con la gráfica estereográfica para demostrar la eficiencia de este dispositivo de control solar. Con color rojo se traza la incidencia solar en el interior de la sala en el mes de junio y con amarillo el mes de diciembre.

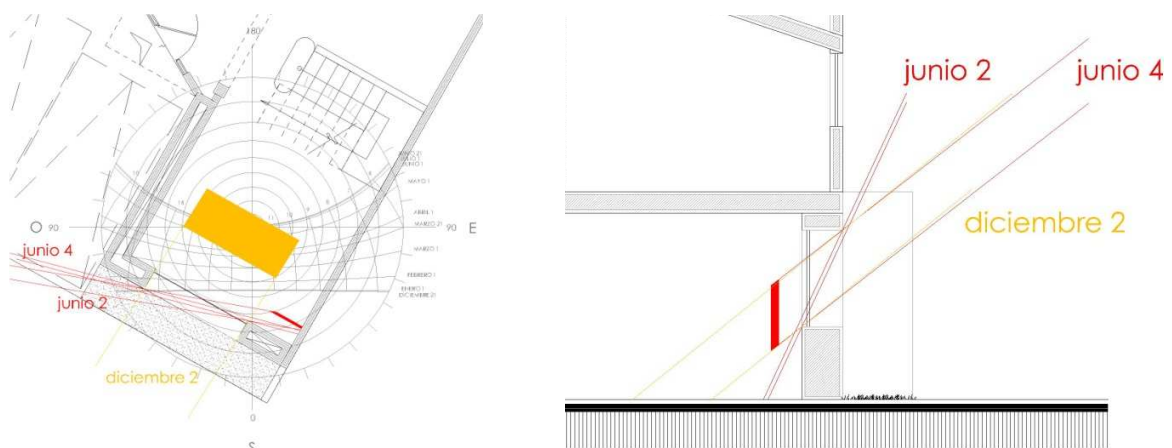


Figura 15. Control solar vivienda A

Uno de los aspectos que se tomó en cuenta dentro de la selección de esta vivienda es que tuviera una relación de vano y macizo de acuerdo con Mahoney y cercana al anteproyecto de NOM-020, por lo que se buscó una vivienda con aproximadamente 20% de relación de vano respecto al macizo. En el plano A2 y en la tabla 10 se puede observar esta relación.

2.5.2.3 Materiales y sistemas de construcción

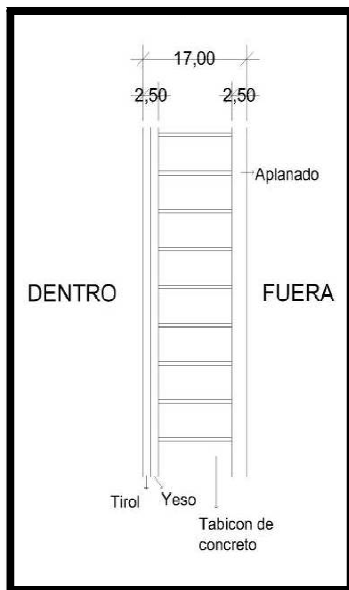


Figura 16. Sección de muro, casa A

Como se vio en las estrategias de diseño, la masa térmica dentro de este clima juega un papel determinante, por lo que se buscó una vivienda que contara con materiales masivos y de cierta inercia térmica.

Los materiales constructivos de esta vivienda son muros de tabicón de concreto de 12 cm de espesor, que con los aplanados suman alrededor de 17 cm (figura 16). El anteproyecto de norma NOM-020-ENER considera muros masivos después de 10 cm (CONAE, 1997, p. 5). En esta vivienda se realizó una ampliación en la planta alta, en la que utilizó tabique rojo recocido de 14 cm de espesor, considerado también como material masivo. En el capítulo 4, en la parte de la aplicación de la normatividad, se detalla cada uno de los muros con sus materiales y recubrimientos.

Un aspecto importante dentro de la vivienda “A” es que una parte del muro de la fachada principal está compuesto por una capa de tabique, una de aire y una de tabicón, lo que genera un muro masivo de 50 cm que da mayor inercia térmica en el interior de la vivienda, y en la parte de la ventana, la profundidad provoca control solar al interior de la sala como se mencionó anteriormente. Esto se ilustra en planta y en corte por fachada de la figura 15. Esta sección se presenta a manera de detalle constructivo en el plano A3, en el cual de adentro hacia afuera se puede observar tabicón de concreto de 12 cm, un espacio vacío y finalmente tabique rojo recocido de 14 cm con aplanado exterior.

El sistema constructivo de la cubierta también tiene el atributo de almacenar aire en su interior debido a que es un sistema de vigueta y bovedilla que, como se muestra en la figura 17, cuenta

con huecos de aire que quedan atrapados en el interior de la losa. Lo anterior da la cualidad de retardar un poco el intercambio térmico que sufre la losa tanto al interior en tiempo de calor como al exterior cuando hay más frío. Además de este sistema, la cubierta de la recámara principal está aislada en su interior con un falso plafón que brinda condiciones más estables a la habitación.

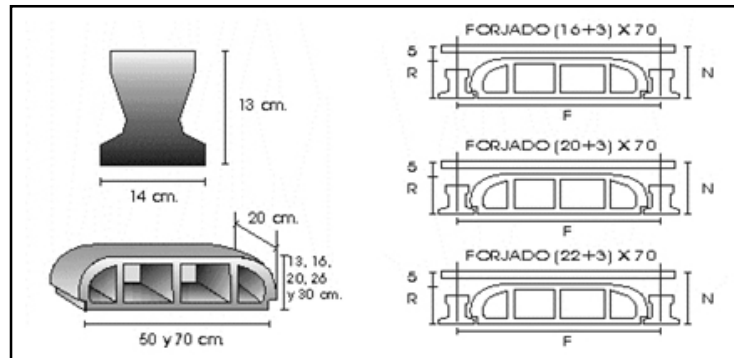


Figura 17. Sistema constructivo vigueta y bovedilla

Fuente: <http://www.anippac.org.mx>

La cancelería es de aluminio anodizado y la cristalería tipo bronce con espesor de 6 mm. La ventilación es por medio de ventanas corredizas bien aisladas para evitar infiltraciones.

2.5.3 Caracterización casa B: Convencional

La casa propuesta como convencional será referida durante esta investigación como vivienda “B”. Es una casa habitación unifamiliar que cuenta con 219 m² construidos y una distribución en dos niveles. La planta baja está dividida en recibidor, sala comedor, desayunador, estudio o sala de descanso, cocina, sanitario y lavandería; en la planta alta se encuentra la recámara principal, dos recámaras, sala de televisión, baño y una pequeña terraza. La distribución de la vivienda B, se muestra en el plano arquitectónico A4 y en la figura 18 se muestra su fachada principal.

2.5.3.1 Orientación

La orientación de la fachada principal de la vivienda “B” es hacia el este con una ligera inclinación al sureste por lo que su fachada posterior es hacia el poniente, además tiene una ventana con orientación sur en la sala de descanso. En el plano A4 se presentan las plantas arquitectónicas de esta vivienda.



Figura 18. Vivienda convencional "B"

2.5.3.2 Control solar

Como elementos de protección solar se tienen volados de 50 cm en todo el perímetro de las cubiertas, sin embargo por ser ventanas muy grandes con orientación este y oeste, no presentan buen control del asoleamiento. Así mismo se tiene el remetimiento de la ventana de la terraza de la planta alta.

2.5.3.3 Materiales y sistemas de construcción

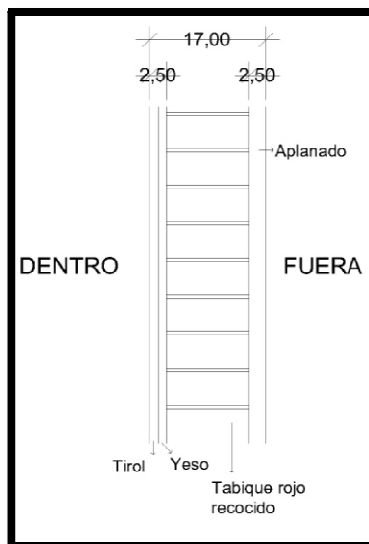


Figura 19. Sección muro casa B

Como materiales de construcción para esta vivienda se tiene tabique rojo recocido, en toda la construcción (figura 19).

El sistema constructivo de la cubierta es una losa de concreto maciza de 12 cm de espesor y en la sala de descanso es una losa reticular con block hueco de 20 cm de espesor. En el plano A6 se muestra un corte por fachada en el que aparecen los dos tipos de cubierta, así como los muros y detalles de cancelería.

La cancelería de esta vivienda es de herrería y el cristal es claro de 4 mm de espesor.

A continuación se presenta en una tabla comparativa varias características de ambas viviendas.

2.5.4 Tabla comparativa casa A y B

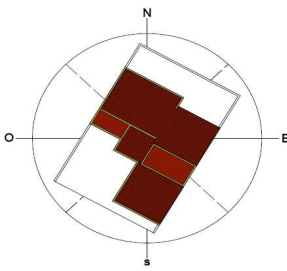
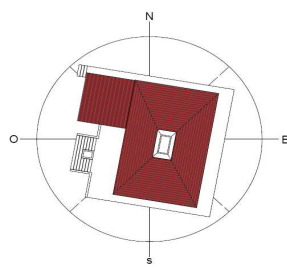
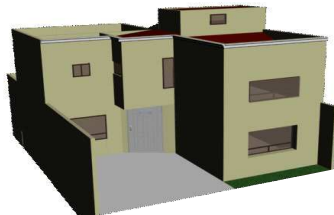
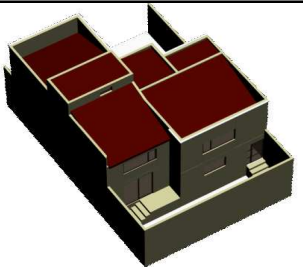
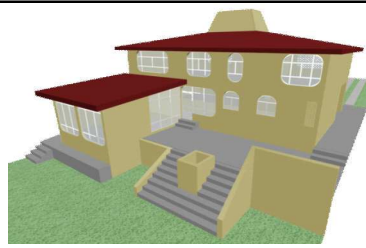
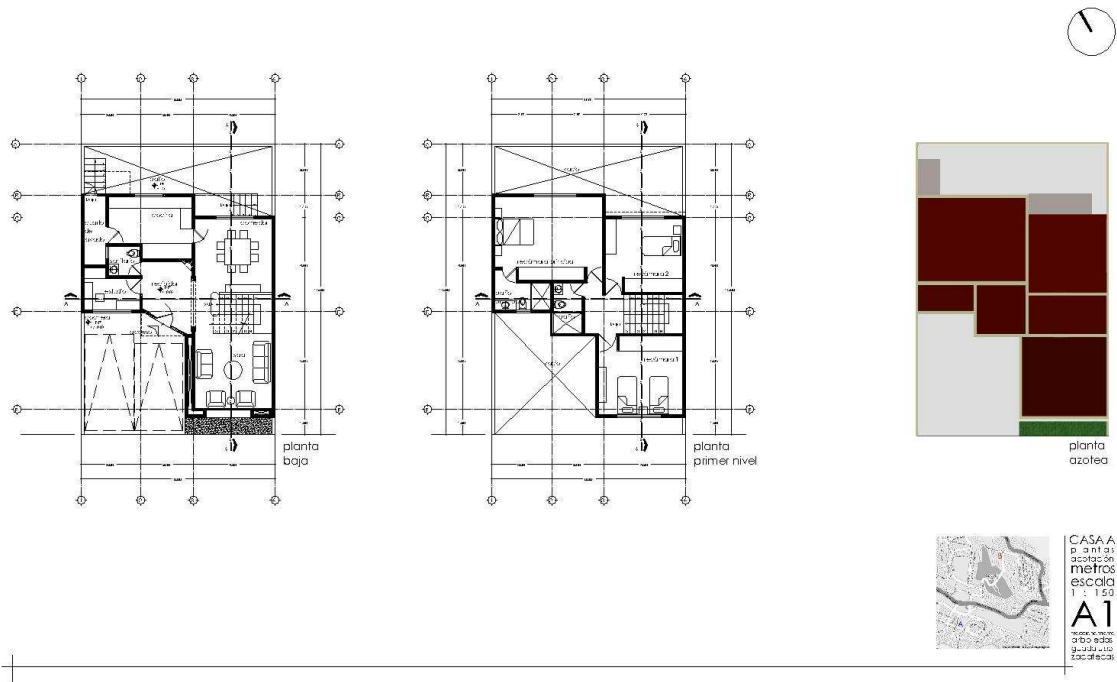
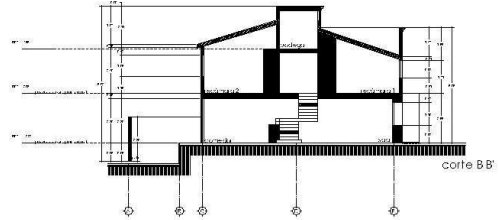
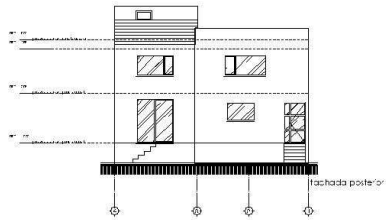
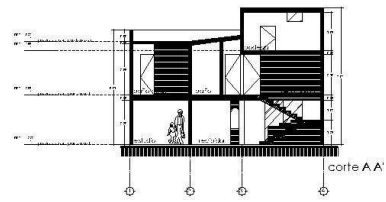
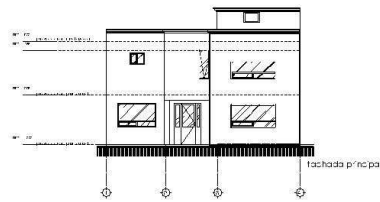
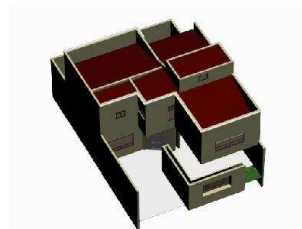
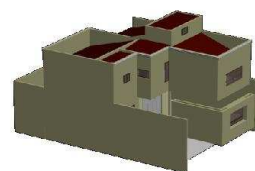
		A	B
		vivienda con principios bioclimáticos	vivienda convencional
Orientación		Fachada principal: Sur-Suroeste Fachada posterior: Norte-Noreste 	Fachada principal: Este-Sureste Fachada posterior: Oste-Noroeste 
Distribución	Planta Baja	Recibidor, sala, comedor, cocina, estudio, sanitario, lavandería	Recibidor, sala, comedor, cocina, estar, sanitario, lavandería
	Planta Alta	3 Recámaras, 2 baños, vestíbulo, bodega	3 Recámaras, 1 baño, sala de televisión, terraza
	Ventajas	Ubicación de la cocina en la parte norte Ubicación de lavandería al norte	Ubicación de recámara principal al este, ubicación al sur
	Desventajas	Ubicación de 2 recámaras al noreste	Ubicación de la cocina en la parte oeste Ubicación de lavandería al sur Ubicación de cochera hacia el sur Ubicación de la sala, comedor y 2 recámaras en la parte norte
Área construida (m²)		173	219
Área construida interior (m²) -sin considerar terrazas ni cochera cubiertas-	Planta Baja	83.16	107.42
	Planta Alta	94.55	97.85
	Total	189	196
Tamaño de las aberturas	Fachada principal	 15%	 33%
	Fachada posterior	 19%	 37%
Altura entrepiso		2.40m	2.35m
Sistema constructivo	Muros	tabicón de concreto, tabique rojo recocido	tabique rojo recocido
	Cubierta	vigueta y bovedilla	losa maciza de concreto
Ventanas	Cancelería	aluminio	herrería
	Cristalería	cristal bronce 6mm	cristal claro 4mm
Acabados	Pisos	Loseta cerámica	Loseta cerámica
		Laminado en sala, comedor y recámaras	Alfombra en sala, comedor
Número de habitantes		5	4
Climatización activa		ocasionalmente	durante el invierno

Tabla 10. Vivienda A y B

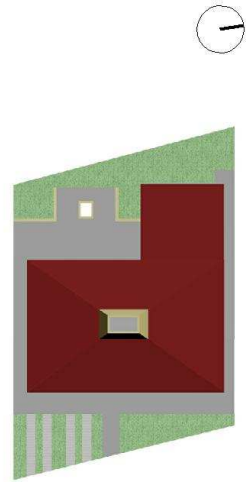
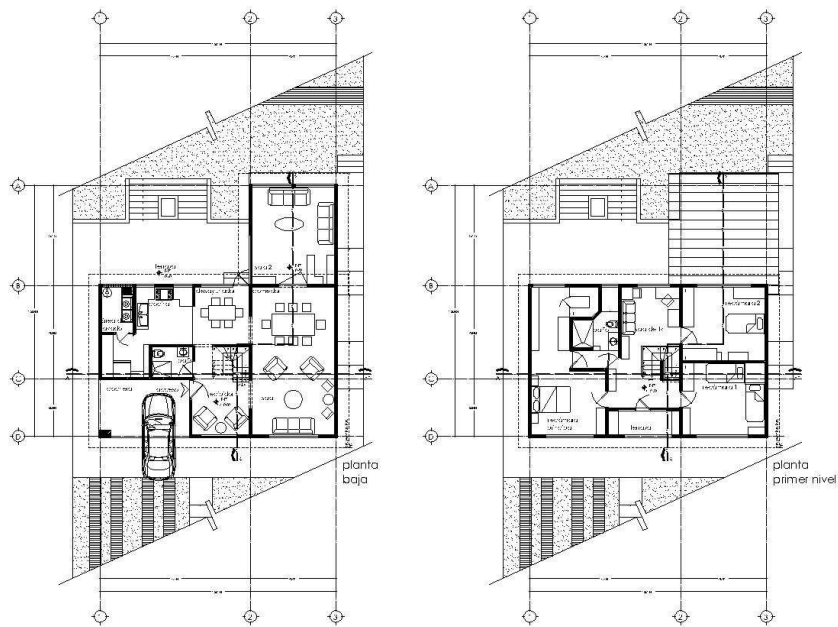




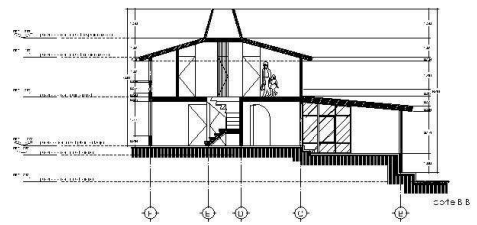
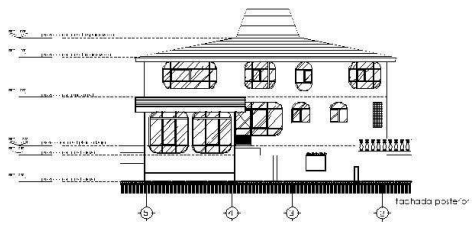
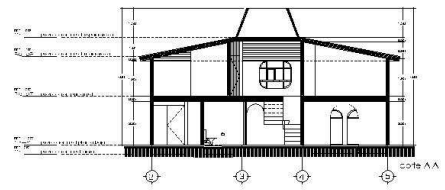
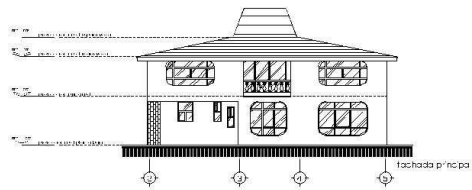
CASA A
selección
metros
escala
1 : 150
A2
selección
metros
escala
1 : 150
fachada



CASA A
della p
acotación
metros
escala
1 : 150
A3
TEL. 00351 55 550 000
bernardoz
guadalupe
zoo oficial



CASA B
p. 301-31
aproximación
metros
escala
1 : 150
A4
www.viajes
be no des
9-03-11-10
Escuela



CASA B
escala 1:150
A5
Bosnia y Herzegovina
Guayaquil
Escuela de Arquitectura

ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Posterior a la caracterización de los casos de estudio y de acuerdo con el análisis climático del capítulo anterior, se diseñó el experimento que se llevó a cabo en esta investigación. Las características de las viviendas seleccionadas y la disponibilidad de equipo, determinaron los espacios que se monitorearon en cada una de ellas; así mismo, el análisis climático marcó el periodo de medición que sería prioritario para este análisis experimental.

El presente capítulo tiene como objetivo mostrar el experimento comparativo realizado para esta tesis, en el cual se aborda la descripción de la instrumentación, la calibración y colocación en sitio de la misma, así como la presentación y análisis de los resultados más representativos.

3.1 Instrumentación

El equipo de medición utilizado en este experimento fue digital y analógico, por lo que en las líneas siguientes se describe agrupando en estos dos bloques, cada uno de los instrumentos con sus características técnicas más relevantes. Cabe mencionar, que de acuerdo con los objetivos de este trabajo, se requería equipo con adquisición automática de datos en tiempo real, que brindara la posibilidad de contar con mediciones horarias de temperatura y humedad relativa de manera continua durante varios meses.

3.1.1 Digital

3.1.1.1 Estación UAM

Para el monitoreo de las condiciones ambientales exteriores, se utilizó la estación climatológica del Laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad

Azcapotzalco, la cual será referida como estación UAM. Dicha estación es marca Davis, modelo Vantage Pro, con recepción de datos inalámbrica.

La estación UAM se utilizó con el objetivo de adquirir datos de: temperatura, humedad relativa, radiación solar total, dirección y velocidad de viento, sin embargo, mide otros múltiples parámetros. Los datos exteriores obtenidos con la estación UAM se utilizaron como referencia para el monitoreo de las condiciones ambientales interiores. En la figura 20 se presenta dicha estación, la imagen del centro es la consola de recepción de datos que además permite el monitoreo de temperatura y humedad relativa del espacio interior en el que ésta se coloque.



Figura 20. Estación UAM

3.1.1.2 Estación CNA

Los datos medidos con la estación UAM se cotejaron durante todo el tiempo del experimento, con datos proporcionados por la Estación Meteorológica Automatizada (EMA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual será referida como estación CNA.

La estación CNA está localizada en la ciudad de Guadalupe, Zacatecas, en Av. Secretaría de la Defensa Nacional No, 90, en la Zona Industrial de Guadalupe, en las coordenadas 22°44'48" Norte y 102°30'25" Oeste, a una altura aproximada de 2261 msnm; se encuentra a aproximadamente 3km de las viviendas analizadas. En la figura 21 se muestra la localización de la estación CNA con relación a las viviendas A y B.

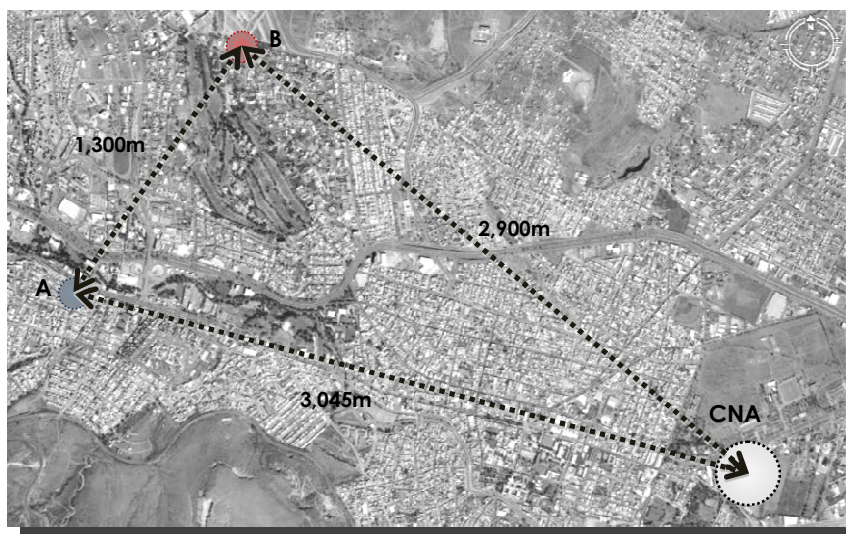


Figura 21 Localización Estación CNA, casa A, casa B.
Fuente: Google Earth

3.1.1.3 Termohigrómetros

Se utilizaron dos termohigrómetros o higrótermómetros digitales registradores de datos, marca EasyView modelo EA25 con un rango de medición de 10 a 95% para humedad relativa y de -20 a 60°C para temperatura. Estos instrumentos pueden almacenar hasta 15,000 lecturas en modo automático, que es como se utilizaron en este caso.

Se determinó que los datos medidos tuvieran un intervalo de una hora, sin embargo la tasa de muestreo que permiten estos termohigrógrafos es de 3 a 255 segundos en modo automático, por lo que se buscó el mayor submúltiplo horario que correspondió a 240 segundos (4 min) para obtener 15 lecturas por hora; para un intervalo mayor hubiera sido necesario el apoyo ininterrumpido de una computadora. Para este caso, se programaba cada termohigrógrafo con hora de inicio, hora de final y tasa de muestreo, posteriormente los grupos de datos correspondientes a un día (360 lecturas) se descargaban en una computadora con el software previamente instalado, y se exportaban a una hoja de cálculo de Excel.

En la figura 22 se presentan los termohigrómetros utilizados; así mismo, se puede observar que la variación en las mediciones obtenidas entre uno y otro es muy estrecha tanto para temperatura (23.5 y 23.6°C) como para humedad relativa (21.7 y 18%). Cabe señalar, que durante los meses que se utilizaron los termohigrómetros, fue indispensable llevar control de la

fueron una fuente de poder de estos instrumentos, debido a que una falla en el suministro de energía representaba la pérdida de más de un día de mediciones, por lo que generalmente había que cambiar las baterías una vez por semana. Debido a la demanda de las mismas, durante gran parte del experimento se utilizaron baterías recargables atendiendo a que es menor el impacto ambiental que provocan respecto a las baterías comunes.



Figura 22. Termohigrómetros

3.1.1.4 Termómetros de máximas y mínimas

Se emplearon cuatro termómetros marca RadioShack modelo 63-1013 para registro de datos de máximas y mínimas de temperatura y humedad relativa; y dos de la misma marca, modelo 63-867^a para registros únicamente de temperatura máxima y mínima. En la figura 23, se muestran dichos termómetros.

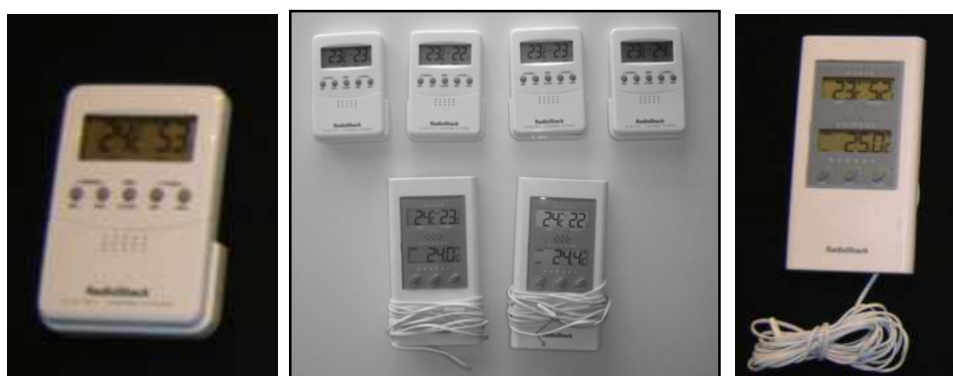


Figura 23. Termómetros de máximas y mínimas

3.1.1.5 Medidor de temperatura, humedad y flujo de aire

Se utilizó un medidor 3-en-1, humedad, temperatura y de flujo de aire, marca Extech Instruments, modelo 45160, con rangos de medición de 0 a 50°C para temperatura, de 10 a 95% para humedad relativa y de 0.4m/s a 30m/s para velocidad de viento. Este medidor se empleó para tomar lecturas de velocidad viento al interior de algunas ventanas y principalmente, para cotejar y calibrar el resto de los aparatos durante todo el experimento (figura 24 A).

3.1.1.6 Termómetro de infrarrojo

Para la medición de temperaturas superficiales se utilizó un termómetro de infrarrojo InfraPro Oakton 35639-00, con un rango muy amplio de medición de temperatura (-32 a 535°C). Para tomar lecturas, debe colocarse el termómetro de manera perpendicular a la superficie a evaluar (aprox. a una distancia de 60cm); las superficies que mide son opacas por lo que, para medir la temperatura en vidrios fue necesario colocar una estampa auto adherible que se dejó durante algún tiempo hasta que ésta se estabilizó con la temperatura del vidrio (figura 24 B).

3.1.1.7 Luxómetro

En la evaluación de los niveles lumínicos se utilizó un registrador medidor de luz (luxómetro), con interfaz para PC marca Extech Instruments, modelo 401036. El rango de medición es de 0 a 20,000lux, el cual es bajo para lecturas al exterior, sin embargo se requería principalmente tomar lecturas interiores. Este luxómetro cuenta con capacidad para almacenar hasta 16,000 datos, lo que permitió hacer corridas de varias horas en los distintos espacios de las viviendas y almacenarlas durante varios días (figura 24 C).

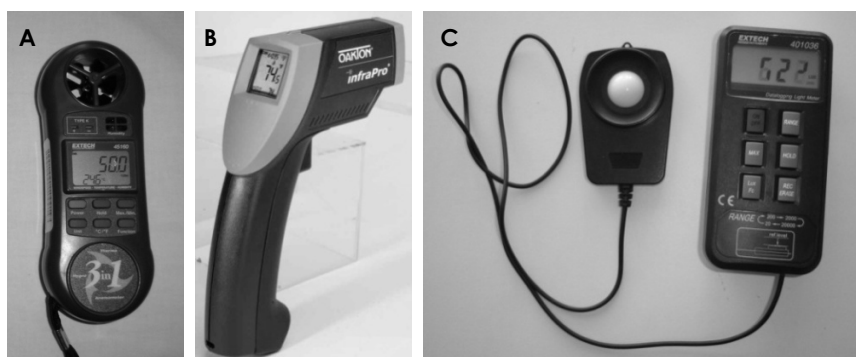


Figura 24. Anemómetro, termómetro infrarrojo y luxómetro

En la tabla 11 se resumen las especificaciones del equipo digital descrito anteriormente. Se especifica para cada instrumento: marca, modelo, parámetro de medición, rango, grado de precisión y fuente de poder suministrada.

INSTRUMENTO	MARCA	MODELO	PARÁMETRO	RANGO	PRECISIÓN	FUENTE DE PODER
Estación climatológica UAM	Davis Instruments	Vantage Pro	temperatura exterior	-40 a 60°C	± 0.5°C	corriente eléctrica
			temperatura interior	0 a 60°C	± 0.5°C	
			humedad relativa ext.	0 a 100%	± 3%	
			humedad relativa int.	10 a 90%	± 5%	
			radiación solar	0 a 1800W/m ²	± 5%	
			dirección de viento	0 a 360°	± 7°	
			velocidad de viento	1.5 a 79m/s	± 5%	
Higro-termómetro digital registrador de datos	EasyView	EA25	temperatura	-20 a 60°C	± 1°C	6 baterías "AAA"
			humedad relativa	10 a 95%	±5% (<30%, 25°C) ±3% (≥30%, 25°C)	
Termómetro máximas y mínimas	RadioShack	63-1013	temperatura	0 a 50°C	± 0 a 40°C	2 baterías "AAA"
			humedad relativa	25 a 95%	± 5% (<80% HR) ±7% (≥80%HR)	
Termómetro máximas y mínimas	RadioShack	63-867A	temperatura	-5 a 50°C	0 a 40°C (-/- 1°C)	2 baterías "AA"
Termómetro de infrarrojo	Oakton	35639-00	temperatura	-32 a 535°C	± 1%	batería 9V
Medidor 3 en 1	Extech Instruments	45160	temperatura	0 a 50°C	± 1.2°C	batería 9V
			humedad relativa	10 a 95%	±4% (<70%) ±5.2% (≥70%)	
			velocidad de viento	0.4 a 30m/s	4%	
Luxómetro	Extech Instruments	401036	iluminación	0 a 20,000lux	± 3%	batería 9V

Tabla 11. Especificaciones instrumentación digital

3.1.2 Analógica

3.1.2.1 Termohigrógrafos

Se utilizaron cinco termohigrógrafos analógicos de adquisición en tiempo real; dos de ellos marca Oakton, dos marca Rossbash y uno marca Kagaku Kyoeisha Ltd. Los tres modelos son de dos velocidades, es decir se pueden utilizar para 1 y 7 días, su rango de medición es de -10 a 50 °C en temperatura y de 0-100% en humedad relativa. Para el funcionamiento de dichos termohigrógrafos, se requirieron plumillas y papel graficador marca Oakton #08368-41 con rotación de 7 días.

El mecanismo que genera el movimiento de estos instrumentos, es una serie de engranes a los cuales había que dar cuerda una vez por semana. Cabe mencionar que estos aparatos fueron

los que demandaron mayor mantenimiento durante el experimento, incluso hubo ciertas fallas en algunos de ellos y se requirió hacer las reparaciones convenientes. En la figura 25 se muestran algunas vistas de uno de los termohigrógrafos marca Oakton, se indican el sensor de temperatura que es una placa bimetálica; y el de humedad, que es un haz de cabello humano fino y preferentemente claro⁶. Dichos sensores son dilatados o contraídos según las condiciones ambientales, acción que las plumillas junto con el giro del cilindro ocasionado por el movimiento de los engranes, dibujan el recorrido sobre el papel graficador durante siete días.

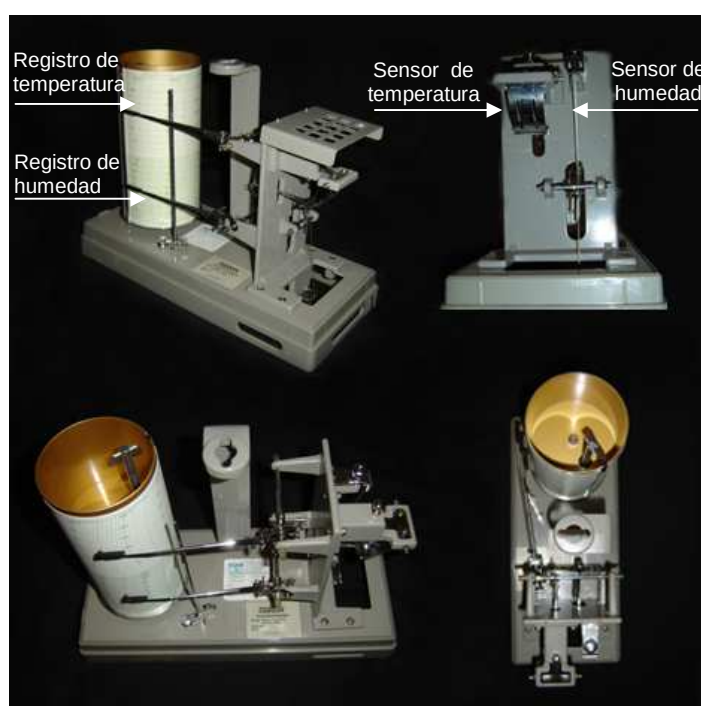


Figura 25 Termohigrógrafo

Además del equipo descrito anteriormente se utilizaron dos termómetros de mercurio marca Taylor modelo 6332 con un rango de medición de -20 a 110 °C, como referencia del resto de los aparatos; y un termómetro de globo marca Casella con un rango de medición de -5 a 50 °C. En la tabla 12, se presentan las especificaciones de la instrumentación analógica descrita anteriormente.

⁶ El cabello tiene la particularidad de ser muy sensible a la humedad variando su elongación de acuerdo a la saturación de humedad en el mismo.

INSTRUMENTO	MARCA	PARÁMETRO	RANGO	PRECISIÓN	FUENTE DE PODER
Termohigrógrafo	Oakton	temperatura	-10 a 50°C	± 1°C	cuerda para movimiento de engranes
		humedad relativa	0 a 100%	±5% (<10%) ±3% (≥10%)	
Termómetro de mercurio	Taylor	temperatura	-20 a 110°C		-
Termómetro de globo	Casella	temperatura	-5 a 50°C		-

Tabla12. Especificaciones instrumentación analógica

3.2 Calibración de instrumentos

Parte del diseño del experimento debe considerar la preparación, calibración y prueba del equipo. La calibración es importante porque permite verificar el instrumento de medición contra un patrón conocido y reducir los errores de exactitud (Holman, 1990). Como se mencionó anteriormente, para este caso se utilizaron dos termómetros de mercurio y el medidor de temperatura, humedad y flujo de aire como patrones de referencia del resto de los instrumentos. A continuación se describe brevemente el proceso de calibración dividido nuevamente en equipo digital y analógico.

3.2.1 Instrumentación digital

La estación climatológica UAM, al momento de ser instalada detecta de manera automática su ubicación, así como el nivel de presión atmosférica, temperatura, humedad, etc. Una vez estabilizada, se continúa con la programación de la misma. Esta programación es por medio del software WeatherLink 5.4V, el cual permite la calibración de cualquier parámetro. En este caso fue necesario hacer un ajuste en la temperatura interior de acuerdo a los patrones de referencia mencionados.

Los termohigrómetros y termómetros de máximas y mínimas, se compararon con los termómetros de referencia, verificando que la variación estuviera en un rango aceptable. En cuanto a la humedad, se cotejaba con el termo-higro-anemómetro digital y con los termohigrógrafos previamente calibrados. Para una gran variación se hubiera requerido mantenimiento y calibración del equipo por parte del proveedor.

La calibración del luxómetro consistió en ajustar la iluminancia a 0lux cuando el sensor se encontraba cubierto con la tapa del mismo. El ajuste se hace mediante el giro del potenciómetro o tornillo con el que cuenta el aparato. La calibración del luxómetro fue necesaria en varias ocasiones.

3.2.2 Instrumentación analógica

Para la calibración de los termohigrógrafos se solicitó asesoría al profesor Jesús Arturo Mota Ramírez, del Área de Instrumentación del Departamento de Electrónica de la UAM-Azcapotzalco, quien amablemente apoyó en esta parte de la investigación.

Lo primero que se hizo a los termohigrógrafos fue darles mantenimiento debido a que no se habían usado recientemente: se limpiaron perfectamente los sensores de temperatura y humedad. De acuerdo con la revista de Aficionados a la Meteorología, “la mayoría de los distintos tipos de polvo que se depositen causarán errores apreciables en las observaciones (algunas veces de hasta el 15% de humedad relativa). En la mayoría de los casos, se pueden eliminar o reducir los errores limpiando y lavando los cabellos” (RAM, 2005). De acuerdo a lo anterior, se determinó dar mantenimiento a los termohigrógrafos a lo largo del experimento para reducir el margen de error.

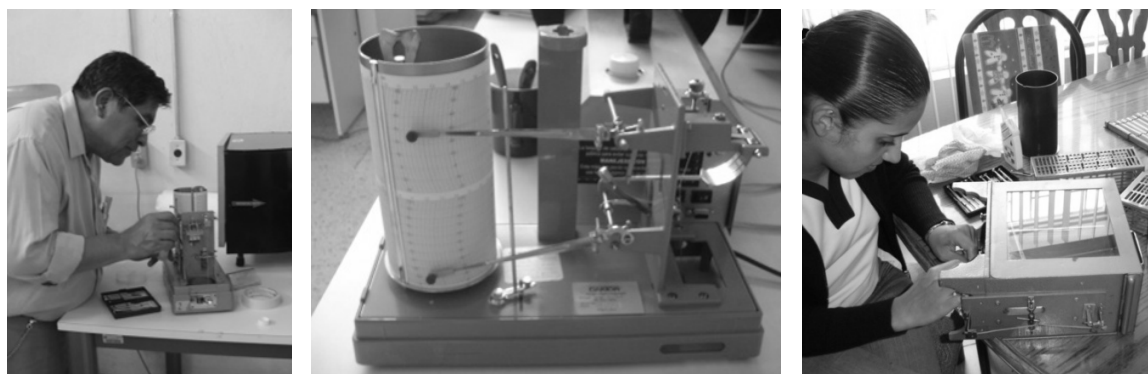


Figura 26. Limpieza y calibración de termohigrógrafos

Para calibrar la temperatura se cotejaron los termohigrógrafos con los termómetros de mercurio, y se hizo un ajuste en los tornillos superiores, que a su vez controlan el brazo que sostiene la plumilla, de manera que ésta última alcanzara en la escala del papel graficador, el mismo nivel señalado por los termómetros de mercurio. En la calibración del sensor de humedad, éste se

llevó a punto de saturación esperando que alcanzara el 100%; una vez que recuperó la humedad ambiente, se cotejó con el equipo de referencia y se ajustó de la misma forma.

El equipo se calibró en el laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la UAM-A en la ciudad de México, con apoyo del profesor Mota; sin embargo, como las mediciones se realizaron en Guadalupe, Zacatecas., fue necesario calibrar nuevamente el equipo un día antes de comenzar el experimento (figuras 26 y 27). Cabe mencionar que una vez instalado el equipo, se cotejó a lo largo del experimento con los termómetros de referencia, como se trató de un periodo de mediciones extenso, el mantenimiento y calibración fueron necesarios en algunas ocasiones.



Figura 27. Calibración termohigrógrafos (8 de junio 2007)

3.3 Instalación de equipo

De acuerdo a la distribución de las viviendas y disponibilidad de equipo se consideró monitorear constantemente en cada vivienda un punto representativo de la planta baja y uno de la planta alta. Así mismo se eligieron en cada vivienda, en planta baja y en planta alta las áreas que, a juicio y percepción de los usuarios, son los espacios más extremos, y se llevó un registro de temperaturas y humedades máximas y mínimas en ellos.

Entre las principales consideraciones que se tuvieron en la colocación en sitio de los instrumentos, se encuentra que estos no recibieran radiación solar directa en ningún momento; así mismo, que no se encontraran a menos de 60cm de paredes que reciben radiación solar y que se localizaran a una distancia aproximada de 1.5m con respecto al nivel de piso, ya que ésta es una altura adecuada para la escala humana.

En la figura 28 se presenta en la parte superior el equipo instalado en la vivienda A; en la parte inferior el de la vivienda B.

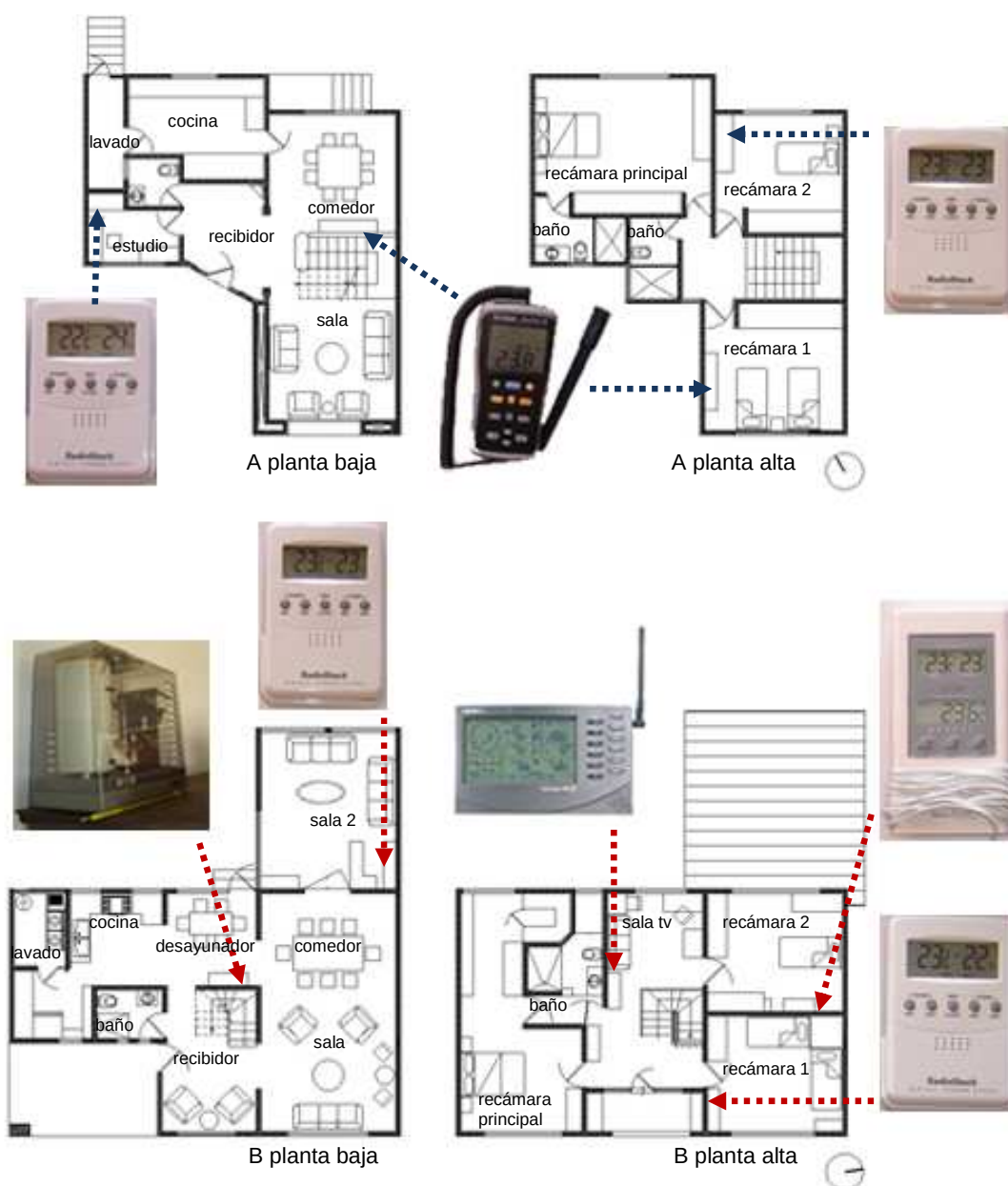


Figura 28. Ubicación de Equipo Casa A y casa B

3.3.1 Instrumentación casa A

Para la adquisición de datos de la casa A se colocó un termohigrómetro en planta baja entre la sala y el comedor, se ubicó cerca de una pared con colindancia, a una altura de 1.57m; se consideró este espacio debido a que es el centro de la planta baja. Se colocó un segundo termohigrómetro en planta alta, a una distancia de 80cm con respecto al piso; se ubicó en la recámara 1 debido a que el vestíbulo de la planta alta es un espacio solamente de circulación y se encontraría muy cerca del otro termohigrómetro.

Se colocaron también, un termómetro de máximas y mínimas en el cuarto de estudio de la planta baja a una altura de 1.52m y en la recámara posterior de la planta alta a una altura de 1.62m; se eligieron estos espacios, debido a que según la opinión de los usuarios son los espacios menos confortables de la vivienda.

3.3.2 Instrumentación casa B

Para las mediciones exteriores se colocó la estación UAM en la losa de azotea de la casa B, en la figura 29 se muestra parte del proceso de instalación, mismo que se describe a continuación. Lo primero que había que hacer era determinar el lugar más factible para su colocación considerando que no es una losa horizontal, posteriormente se ubicó y trazó el Norte (fig. 29 A), se colocó la base y se estabilizó respecto al nivel de burbuja que tiene la estación, finalmente se fijó a la losa en sus tres apoyos (fig. 29 B). Una vez instalada la base se colocó en ella el tubo central donde se pone el resto de la estación (fig. 29 C, D) y se verificó que el nivel fuera el correcto antes de tensarla para evitar que se moviera con el viento, se alineó al norte el brazo de la veleta de viento.

Colocada la estación, se esperó a que la consola detectara la señal para continuar con la instalación del software WeatherLink 5.4V que permitió crear y programar en el sistema la nueva estación. La estación enviaba la señal de manera inalámbrica al equipo interior que se situó en el vestíbulo de la planta alta de la casa B. En la consola, los datos monitoreados con un intervalo de media hora, se almacenaban hasta por un mes y medio. Posteriormente se conectaba la estación a la computadora para descargarlos en el programa correspondiente, se exportaban y se guardaban en Excel.



Figura 29. Colocación Estación UAM, casa B

En la planta baja se colocó un termohigrógrafo en el desayunador debido a que la distribución de esta planta es muy abierta se consideró, que éste es un espacio representativo ya que es el que tiene mayor número de horas de uso, este termohigrógrafo se colocó a una altura de 1.61m. Para la planta alta, como se mencionó anteriormente, se colocó la consola de la estación a una altura de 1.46m. Por disponibilidad de equipo, gran parte del tiempo se monitoreó con un termohigrógrafo la recámara posterior, debido a que es considerada por los usuarios, como uno de los espacios más desfavorables de la vivienda.

Se colocaron termómetros de máximas y mínimas en planta baja en la sala 2, ya que a percepción de los usuarios existe un cambio notorio de temperatura al ingresar a este espacio a pesar de sólo estar dividido por dos escalones del comedor; en la planta alta se instalaron termómetros de máximas y mínimas en las recámaras 1 y 2, a una altura de 1.13m y 1.6m respectivamente.

3.4 Desarrollo del experimento

Conforme a los objetivos de esta investigación, la parte experimental jugó un papel determinante. Como se vio anteriormente, la instrumentación y la colocación del equipo de medición fue una tarea que en su momento demandó gran atención y tiempo; sin embargo, lo más complejo de un experimento de estas características es mantenerlo en correcto funcionamiento y sincronía.

En el diseño del experimento se determinó que el periodo de mediciones fuera lo más amplio posible, abarcando la temporada cálida y la fría, sin embargo por tratarse de un clima semifrío, la temporada invernal se consideró de mayor importancia.

Concretamente, en este experimento se monitorearon continuamente dos puntos de cada una de las viviendas seleccionadas (uno en planta baja y uno en planta alta), a partir del 9 de junio de 2007 al 14 de marzo de 2008 (278 días), abarcando parte del periodo cálido y el periodo frío en su totalidad. Se midieron cerca de 6700 horas de manera constante.

Lo anterior requirió el apoyo de varias personas debido a que gran parte del experimento se controló a distancia y solamente se hacían visitas al sitio cada 3 semanas aproximadamente. En primera instancia, se pidió a los usuarios de las viviendas que revisaran constantemente el correcto funcionamiento del equipo. Así mismo se capacitó a dos personas que apoyaron las mediciones por lo menos una vez por semana, durante las 39 semanas en las que se desarrolló el experimento.

Cada termohigrógrafo instalado, demandaba semanalmente: cambio de papel graficador, revisión de temperatura y humedad relativa con los termómetros de calibración, revisión del tiempo de recorrido, y proporcionar cuerda al aparato; así mismo, los termohigrómetros semanalmente demandaban descargar los datos almacenados, exportarlos y organizarlos en Excel, y finalmente programarlos nuevamente. Además de lo anterior, hubo que prever que constantemente se contara con el material suficiente que la propia instrumentación requería como papel graficador, plumillas, baterías recargadas, etc.

Así mismo, la estación climatológica, demandaba la descarga puntual de los datos, debido a que en caso contrario la información almacenada podía ser remplazada. De igual manera los

datos se bajaban a una computadora y se exportaban y organizaban en Excel, aproximadamente una vez al mes.

Aparte del monitoreo constante, se registraron lecturas de máximas y mínimas, por lo que se pidió a los usuarios que tomaran lecturas los martes, jueves y sábados de cada semana, relativamente a la misma hora en una vivienda y otra.

Para evaluar los niveles de iluminación, se hicieron corridas de varias horas, en algunos de los espacios de las viviendas, en las que había que instalar y programar el luxómetro para que adquiriera datos durante algunas horas del día, y por la tarde detener las mediciones y retirarlo, para lo cual se solicitó apoyo nuevamente a los usuarios de las viviendas. Esta información también era descargada y organizada en Excel.

Toda la instrumentación digital utilizada, requirió descargar los datos en una computadora de escritorio debido a que la mayoría de las computadoras portátiles no cuentan con la entrada DB9, que es la salida que comúnmente manejan estos equipos, por lo que después de probar varias opciones, se determinó utilizar una computadora específicamente para la descarga y organización de los datos.

Como se lee en los párrafos anteriores, esta investigación se debe al apoyo constante de varias personas tanto en la parte de la experimentación, como en la organización de los datos medidos, puesto que desde el momento de retirar el papel del termohigrógrafo o bajar los datos del termohigrómetro, había que llevar registro preciso de cada día monitoreado. Más adelante se presenta la manera en que se consideró más conveniente organizar los datos obtenidos.

3.5 Presentación y análisis de resultados

3.5.1 Digitalización

Previo a la compilación digital de los datos monitoreados, existía la desventaja de que las mediciones provenientes de los termohigrógrafos se encontraban en papel graficador y se requería que fueran digitales. Para la digitalización de datos se utilizó el programa Origin 7, y se pidió asesoría al M. en C. Amílcar Fuentes del Centro de Investigaciones en Energía (CIE) de la UNAM.

El procedimiento utilizado fue: escanear el papel graficador ya con los resultados medidos, una vez obtenida la imagen ésta se importa a dicho programa dentro del cual se le dan dimensiones de acuerdo a la cuadrícula del papel graficador en el eje de las abscisas y las ordenadas, posteriormente se calca con el puntero una lectura por cada hora y finalmente se obtienen los valores numéricos en una tabla, los cuales son compatibles con Excel. En la figura 30 se muestra una ventana del programa Origin 7, del lado izquierdo aparecen dos gráficas: una en imagen (escaneada) y otra digital (calcada con el puntero); del lado derecho, se muestra la tabla de valores obtenida de las gráficas.

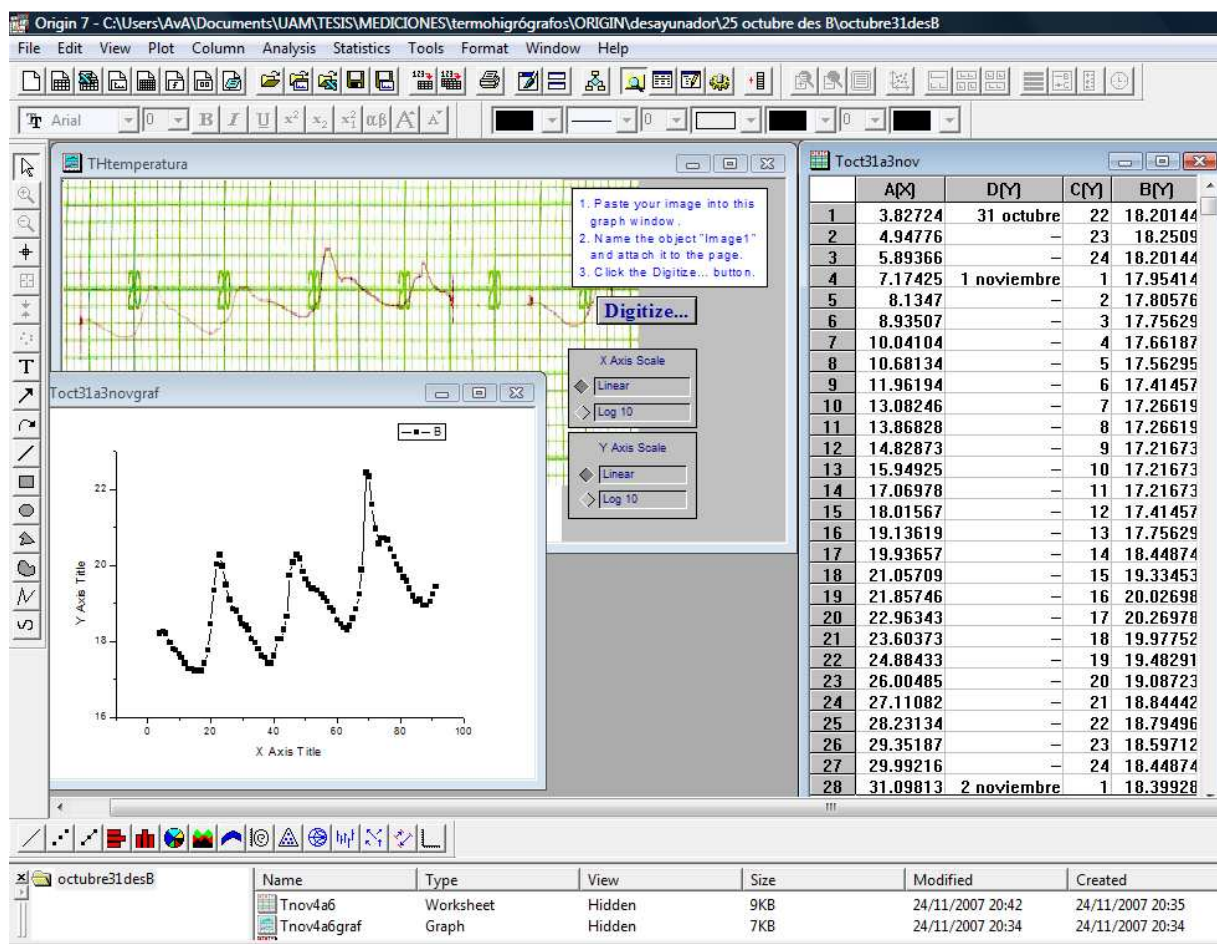


Figura 30. Digitalización de datos

3.5.2 Organización

Para la organización de los resultados se crearon 9 bases de datos mensuales en Excel, en las cuales se concentraron los datos obtenidos de la estación CNA, la estación UAM, la vivienda A y la vivienda B. El objetivo de estas bases de datos fue ordenar una gran cantidad de resultados de manera que se pudieran visualizar gráficamente diversas variables en poco tiempo, por lo que se crearon 14 hojas de cálculo dentro de cada base de datos, las cuales se describen brevemente en la tabla 13.

NOMBRE DE HOJA DE CÁLCULO	CONTENIDO
Normales	Datos normalizados con rangos de confort de temperatura y humedad. Comparación de datos normalizados con datos promedio monitoreados de la estación CNA y la estación UAM
Concentrado	Datos horarios estación CNA, estación UAM, casa A y casa B
Máximas y mínimas	Lecturas de máximas y mínimas de temperatura y humedad relativa, vivienda A y B. (3 registros por semana)
Gráficas estaciones	Gráficas comparativas de datos de estación CNA y estación UAM para temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento. (periodos de 8 días)
Gráficas semanales	Gráficas comparativas de datos de estación CNA, estación UAM, casa A y casa B para temperatura y humedad relativa. (periodos de 8 días)
Gráfica mensual	Gráfica comparativa de datos de estación CNA, estación UAM, casa A y casa B para temperatura y humedad relativa de todo el mes
Gráficas por día	Gráficas comparativas para días específicos, de datos de estación CNA, estación UAM, casa A y casa B para temperatura y humedad relativa.
Confort	Porcentajes de confort calculados de acuerdo al monitoreo
CNA	Datos originales obtenidos de la CNA (intervalo 10 minutos)
UAM	Datos obtenidos de la estación UAM (intervalo 30 minutos)
Termohigrómetros	Datos obtenidos con los termohigrómetros (intervalo 4 minutos)
Termohigrógrafos	Datos obtenidos con los termohigrógrafos, digitalizados en Origin 7
Análisis	Análisis horario de datos monitoreados: diferencia de temperatura entre planta baja y planta alta para ambas viviendas, oscilaciones térmicas diarias para cada espacio monitoreado, totales
Horarias	Análisis horario de datos de estación CNA y estación UAM

Tabla 13. Contenido de Bases de datos

En la figura 31 se presenta un ejemplo de uno de los días monitoreados, en la hoja de cálculo que se denominó “concentrado”: en las filas se presentan las horas de cada día y en las

columnas las variables monitoreadas en los distintos espacios. Para cada hora se obtuvo tanto de la estación CNA como UAM, una lectura de temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento y se distribuyeron en ocho columnas; posteriormente se agruparon, para la vivienda A y la vivienda B, mediciones de temperatura y humedad relativa de planta baja y planta alta. Se observa en la parte inferior de la imagen, las hojas de cálculo, descritas en la tabla 13.

FECHA	HORA	E								A				B			
		ESTACIONES METEOROLÓGICAS								CASA A. PRINCIPIOS BIOCLIMÁTICOS				CASA B. CONVENCIONAL			
		ESTACIÓN CNA				ESTACIÓN CASA B				PLANTA BAJA		PLANTA ALTA		PLANTA BAJA		PLANTA ALTA	
		CNA T °C	CNA HR%	CNA RAD W/m²	CNA VIENTO m/s	UAM T °C	UAM HR%	UAM RAD W/m²	UAM viento m/s	A PB T °C	A PB HR%	A PA T °C	A PA HR%	B PB T °C	B PB HR%	B PA T °C	B PA HR%
31-oct	1	5.3	57.0	0.0	0.9	6.2	45	0	0	18.4	30.6	20.2	35.4	17.83	30.46	17.8	32
	2	5.3	58.0	0.0	0.9	5.2	46	0	0.4	18.5	29.5	19.9	41.3	17.68	29.82	17.3	32
	3	4.6	61.0	0.0	0.8	4.7	45	0	0.4	18.3	28.8	19.5	43	17.46	29.82	16.8	32
	4	4.1	61.0	0.0	1.4	4.6	47	0	0	18.2	28.3	19.1	41.2	17.31	29.36	16.4	32
	5	4.3	57.0	0.0	1.3	4	45	0	0	18.1	27.5	18.7	45.3	17.09	29.27	15.9	32
	6	3.7	59.0	0.0	1.8	4.2	45	0	0	18	27.9	18.3	48.4	16.86	29.08	15.6	31
	7	5.1	50.0	0.0	1.4	4.4	46	2	0	17.8	32	17.9	48.9	16.86	28.90	15.2	32
	8	1.2	72.0	3.0	1.2	4.9	43	99	0	17.8	34.2	17.5	48.4	16.56	28.99	14.8	33
	9	8.8	46.0	193.0	0.0	13.7	27	331	0	17.7	32.7	17.2	50.5	16.41	28.81	14.8	33
	10	14.5	33.0	423.0	0.9	15.2	19	526	0.9	17.7	35.9	16.9	49.3	16.41	29.18	15.1	33
	11	16.5	28.0	641.0	1.1	16.8	17	690	0.9	17.5	33.3	16.6	43.3	16.34	29.08	15.1	33
	12	18.6	23.0	805.0	1.7	17.7	15	797	1.8	17.5	34.7	16.3	41.5	16.64	29.08	15.1	32
	13	20.5	21.0	891.0	2.1	19.2	15	837	1.3	17.7	40.6	16.8	44.1	16.56	29.08	15.3	32
	14	21.9	19.0	893.0	2.3	20.2	12	807	1.8	17.9	42.7	17.1	45.8	17.31	28.07	15.9	32
	15	22.6	17.0	819.0	1.7	21.1	11	714	1.8	18.1	39.1	17.6	44.7	18.13	31.01	16.7	31
	16	22.9	15.0	680.0	1.4	21.9	10	560	1.8	18.5	38.9	18.2	40.8	19.17	27.43	17.8	31
	17	23.3	14.0	504.0	2.2	21.6	9	356	1.3	18.8	39	19	41.1	19.62	26.14	19.1	30
	18	22.6	15.0	266.0	2.3	20.2	10	62	1.3	18.8	37.4	19.9	38.3	19.62	24.86	20.2	30
	19	19.4	15.0	6.0	1.8	17.1	12	0	0.4	18.7	35.8	20.6	34.9	19.10	26.05	20.3	30
	20	14.1	21.0	0.0	1.2	13.6	16	0	0	18.6	35.4	21	34.7	18.50	29.54	20.1	30
	21	13.1	23.0	0.0	1.7	13.1	18	0	0	18.8	33.4	21.3	33.5	18.35	29.54	20	31
	22	12.4	25.0	0.0	1.6	11.7	17	0	0.4	18.8	34.1	21.8	35.8	18.35	29.54	19.7	31
	23	12.0	25.0	0.0	1.4	13.7	18	0	0.9	18.7	31.8	21.8	37	18.33	29.50	19.4	30
	24	8.1	33.0	0.0	1.3	10.2	27	0	0	18.5	30.6	21.8	39.2	18.32	29.50	19.1	30
	PROMEDIO	15.5	58.7	231.5	1.7	15.7	51.2	215.2	1.2	21.9	44.4	22.9	48.7	21.5	40.2	21.7	38.0

Figura 31. Hoja de cálculo “concentrado”. Base de datos octubre

Cabe recordar que los datos de la CNA se ajustaron de acuerdo al horario de verano y a la diferencia horaria con respecto al meridiano de Greenwich (-5h y -6h) y, que dichos datos se registran con un intervalo de 10 minutos por lo que se utilizó uno de cada seis datos en la hoja del “concentrado”. Así mismo, la estación UAM se programó con un rango de 30 minutos, sin embargo por cuestiones prácticas, al momento de organizar los datos se consideró que un intervalo de una hora sería más adecuado. Los datos provenientes de los termohigrómetros, como se comentó anteriormente eran datos registrados con un intervalo de 4 min, es decir que de 360 lecturas diarias se ocuparon solamente 24; por lo que la labor de filtrado de datos fue

muy importante. El objetivo de dicha hoja de cálculo era filtrar y compilar la información proveniente de varios instrumentos y unificar los distintos intervalos para poder tener datos horarios de cada día de manera organizada, para posteriormente graficarlos y así facilitar su análisis.

Organizados los datos de cada mes, se sacaron los promedios de las columnas generadas y explicadas anteriormente. En el resto de las hojas de cálculo de las bases de datos (descritas en la tabla 13), se realizaron diversas gráficas y análisis que se presentarán y comentarán más adelante.

3.5.3 Presentación y análisis

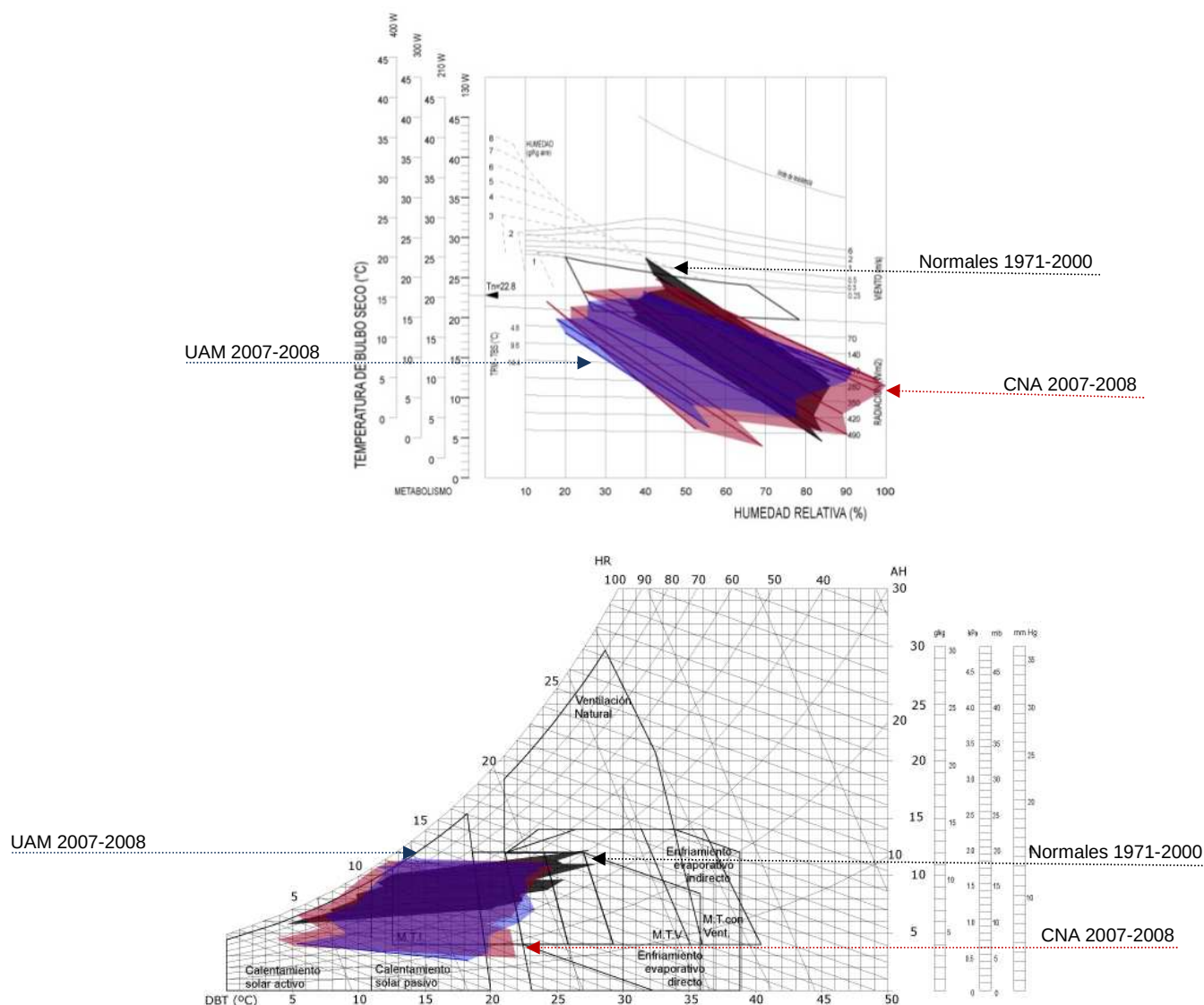
Con los resultados de las estaciones CNA y UAM se ubicó, dentro de un patrón normal (1971-2000), el comportamiento del clima durante el tiempo que duró el experimento, para así poder referenciar e identificar las características del periodo analizado con respecto a las condiciones normalizadas; demostrando con ello, que se midió un año normal y no un año atípico. Se hizo también una comparación de los resultados obtenidos con las dos estaciones, que registraron las mismas variables con una diferencia aproximada de 70m de altura y 3km distancia.

Se observa en la tabla 14 en cuanto a temperatura, que las diferencias del periodo normalizado (columnas 1-3) y el periodo medido (columnas 4-9) son aproximadamente de 1°C, a excepción de los meses de junio y noviembre en que dichas diferencias son mayores. Con respecto a la humedad relativa, de junio a noviembre se presentó una diferencia máxima de 12%, no obstante de diciembre a febrero la humedad registrada presentó diferencias casi de 30%, quedando el periodo monitoreado por debajo del periodo normal.

	TEMPERATURA									HUMEDAD RELATIVA								
	NORMALES 1971-2000			CNA 2007-2008			UAM 2007-2008			1971-2000 (estimada)			CNA 2007-2008			UAM 2007-2008		
	máx	media	mín	máx	media	mín	máx	media	mín	máx	media	mín	máx	media	mín	máx	media	mín
junio	27,4	20,1	12,8	24,8	17,8	12,3	23,2	17,6	13,3	84	62	40	98	72	43	91	67	40
julio	25,4	18,7	12,1	23,8	17,3	12,2	22,6	17,3	13,3	86	64	42	98	76	47	92	69	43
agosto	25,0	18,5	11,9	24,4	17,3	11,5	22,9	17,4	12,9	85	64	43	100	75	45	91	67	39
septiembre	23,6	17,5	11,4	23,9	16,5	10,6	22,6	17,0	12,1	86	65	45	98	74	45	90	66	39
octubre	23,2	16,5	9,8	23,5	15,5	8,0	22,1	15,7	9,8	84	62	41	89	59	31	77	51	26
noviembre	22,2	15,0	7,8	21,7	13,1	5,4	20,0	13,5	7,5	82	60	38	90	59	30	78	51	26
diciembre	20,3	13,0	5,8	21,3	14,1	7,1	19,9	14,1	9,2	84	61	38	63	39	21	52	33	18
enero	20,1	12,4	4,6	19,6	11,7	4,0	18,1	12,0	6,3	84	60	37	69	41	21	56	33	16
febrero	22,4	14,3	6,3	22,0	14,4	6,1	-	-	-	81	58	35	52	29	15	-	-	-

Tabla 14. Temperatura y humedad relativa. Comparación: Normales 1971-2000 con periodo de medición

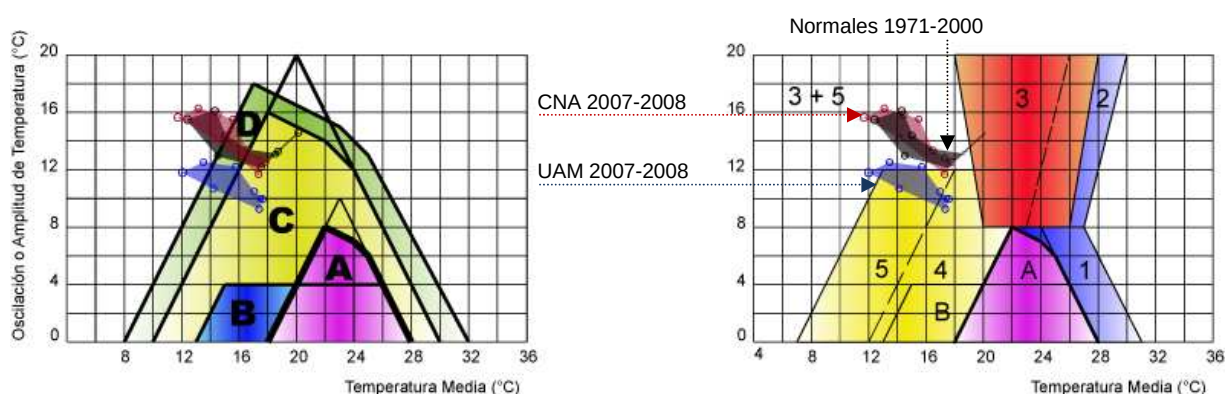
Bajo la misma dinámica de ubicar el tiempo de mediciones dentro de un patrón normalizado, se trazaron las cartas bioclimática y psicrométrica con los promedios mensuales de las temperaturas y humedades máximas y mínimas de cada día monitoreado. Se excluyeron de los datos horarios derivados de las normales, los meses que no se monitorearon en el experimento, por lo que en las siguientes gráficas se presenta de junio a febrero. En la gráfica 13 se presenta lo anterior: el color negro corresponde al periodo 1971-2000, el rojo a la estación CNA y el azul a la estación UAM.



Gráfica 13. Carta Bioclimática y Carta Psicrométrica. Comparación: Normales 1971-2000 con periodo de medición

Como se aprecia en la gráfica 13, las condiciones normales quedan dentro de las del periodo monitoreado puesto que la primera responde a un promedio de varios años; sin embargo la tendencia y estrategias de diseño son las mismas. Se observa también que las líneas de la temperatura se asemejan en los 3 casos, a excepción del mes de junio, pues en el periodo normal este mes sale de la zona de confort, sin embargo en el periodo monitoreado las temperaturas fueron ligeramente más bajas. Existe una variación mayor en la humedad relativa, ya que la humedad calculada es menor que la medida, aunque hay que considerar que la humedad registrada con la estación CNA alcanzó 100% lo que sugiere cierto error en la calibración, debido a que se trata de un clima seco; se observa que el comportamiento de humedad de la estación UAM sigue la misma tendencia pero en menor proporción.

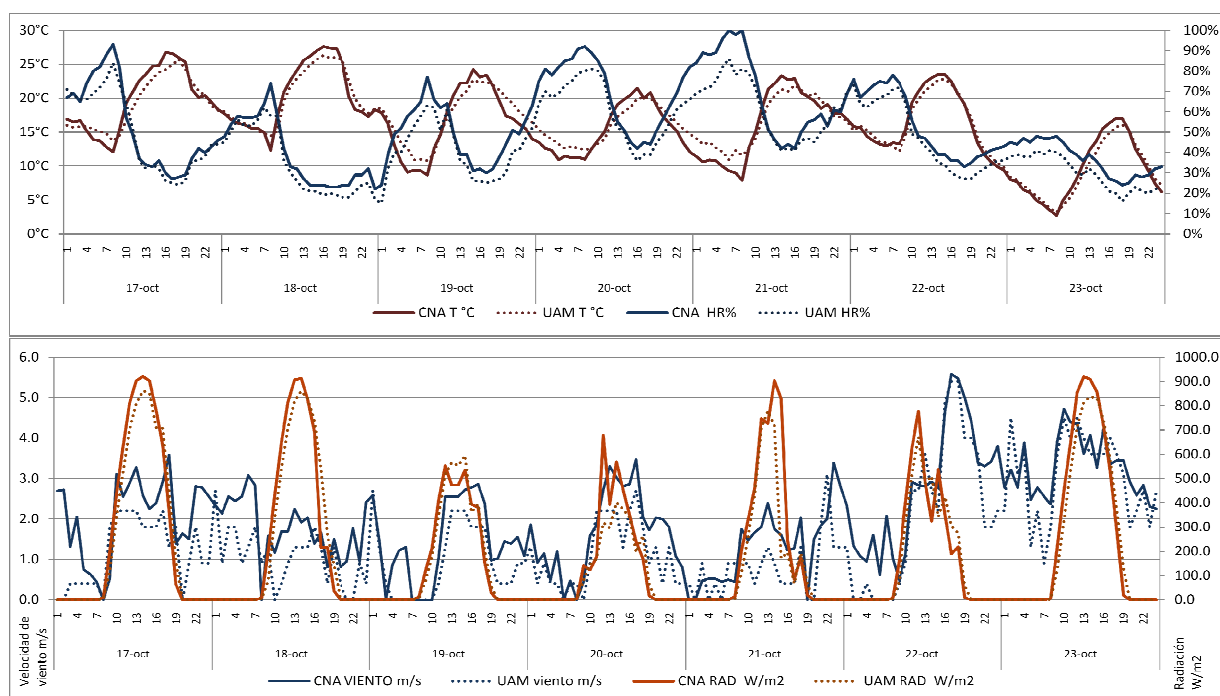
De la misma manera, con la temperatura media y la oscilación promedio se trazaron los triángulos de confort. Se observó gran concordancia en los resultados de la CNA con los normalizados, así mismo que la estación UAM generalmente registró menores oscilaciones térmicas, aunque las temperaturas medias son muy similares (gráfica 14).



Gráfica 14. Triángulos de Confort. Comparación: Normales 1971-2000 con periodo de medición

Además de las gráficas anteriores, una vez obtenidos los primeros resultados se hizo la comparación gráfica de los datos de la estación UAM con los de la CNA (temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento); se encontró gran similitud entre ellos, lo que permitió probar que los datos de la estación instalada para el experimento son confiables y, además da la posibilidad de utilizar datos meteorológicos de la CNA de otros periodos para futuras investigaciones.

En la gráfica 15 se muestran siete días del mes de octubre en los que se presenta en la parte superior el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa; en la parte inferior, la radiación y la velocidad de viento: la línea continua corresponde a la estación CNA y la punteada a la estación UAM. Además de la concordancia entre los resultados de CNA y UAM sobre todo en temperatura, se comprueba que las variables analizadas tienen un notorio comportamiento inverso pues en un día normal se tiene la temperatura más alta con la humedad relativa más baja y viceversa. Cabe recordar, que la distancia entre las estaciones es de 3 km y la diferencia de altura aproximada de 70m, factores a los que se les atribuye las variaciones que se presentan en los datos sobre todo de viento.



Gráfica 15. Comparación estación CNA-UAM

En función de que se generó una gran cantidad de resultados (más de 26,000 datos horarios de las viviendas), estos no se presentan numéricamente sino sintetizados en varias gráficas que muestran lo que se consideró más representativo de cada mes, las condiciones más favorables y desfavorables de cada vivienda, las temperaturas máximas y mínimas, así como algunos porcentajes de confort. En la parte de anexos de esta tesis se incluyen las gráficas mensuales con todos los días medidos durante este experimento.

Para efectos prácticos, en la presentación de resultados se hablará de la planta baja de la vivienda A como PB A y planta alta de la vivienda A, como PA A; de igual manera, se utilizará PB B y PA B para la planta baja y alta de la vivienda B respectivamente. La simbología utilizada para las viviendas es la siguiente (ver figura 32): en color azul la vivienda A y en rojo la vivienda B; en línea punteada la planta baja (PA) y en línea continua la planta alta (PA). Para las lecturas de máximas y mínimas, se tiene en la vivienda A un rombo azul para el cuarto de estudio (AE) y un círculo azul para la recámara 2 (AR); en la vivienda B, un rombo rojo para la sala 2 (BS), un círculo rojo para la recámara 1 (BR1) y un círculo con contorno rojo para la recámara 2 (BR2).



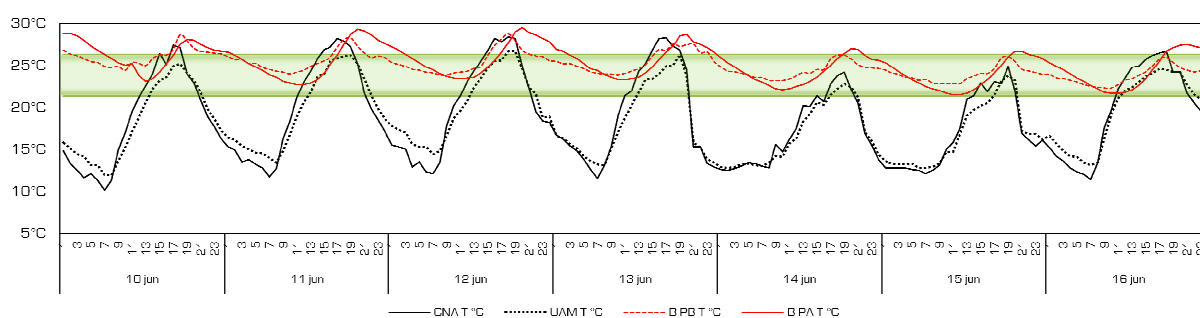
Figura 32. Simbología de gráficas

La simbología de las condiciones ambientales es la siguiente: en negro la temperatura y humedad relativa; la franja verde representa el rango de confort. Las gráficas se presentan (gráfica 16 y similares): en la parte superior los datos de temperatura, y en la parte inferior los de humedad relativa; se grafican las condiciones ambientales junto con los datos monitoreados

dentro de las viviendas con la simbología establecida en la figura 32. En el eje Y de las gráficas se presenta la escala de la variable analizada, en el eje X se presenta el tiempo.

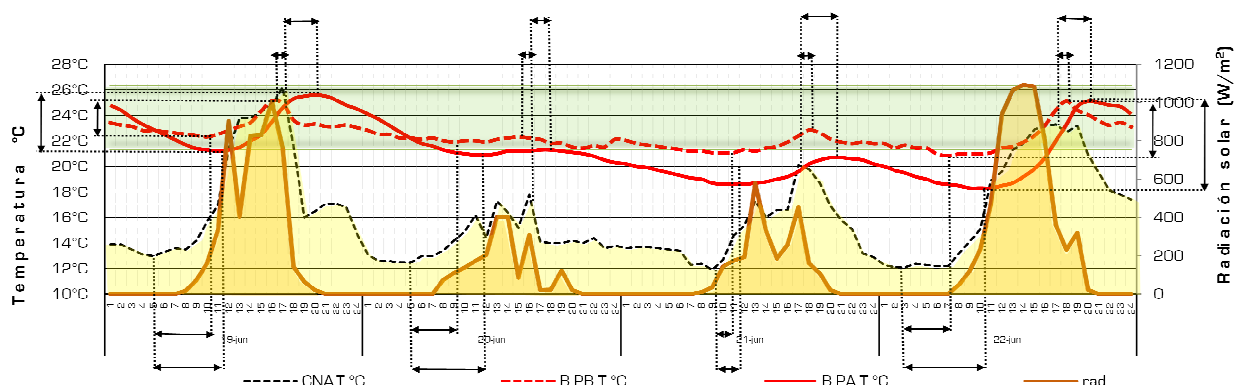
A continuación se dan a conocer parte de los resultados obtenidos en el monitoreo de cada una de las viviendas; el orden en que se exponen de manera cronológica de junio 2007 a febrero 2008.

Como periodo representativo del mes de junio, se muestra la primera semana de mediciones de este experimento en la que se analiza únicamente la vivienda B puesto que, como se mencionó en el capítulo anterior, la vivienda A se comenzó a monitorear en agosto. En la gráfica 16 se observa que existe sobrecalentamiento durante las tardes principalmente en la planta alta, la cual presenta mayores oscilaciones térmicas que la planta baja.



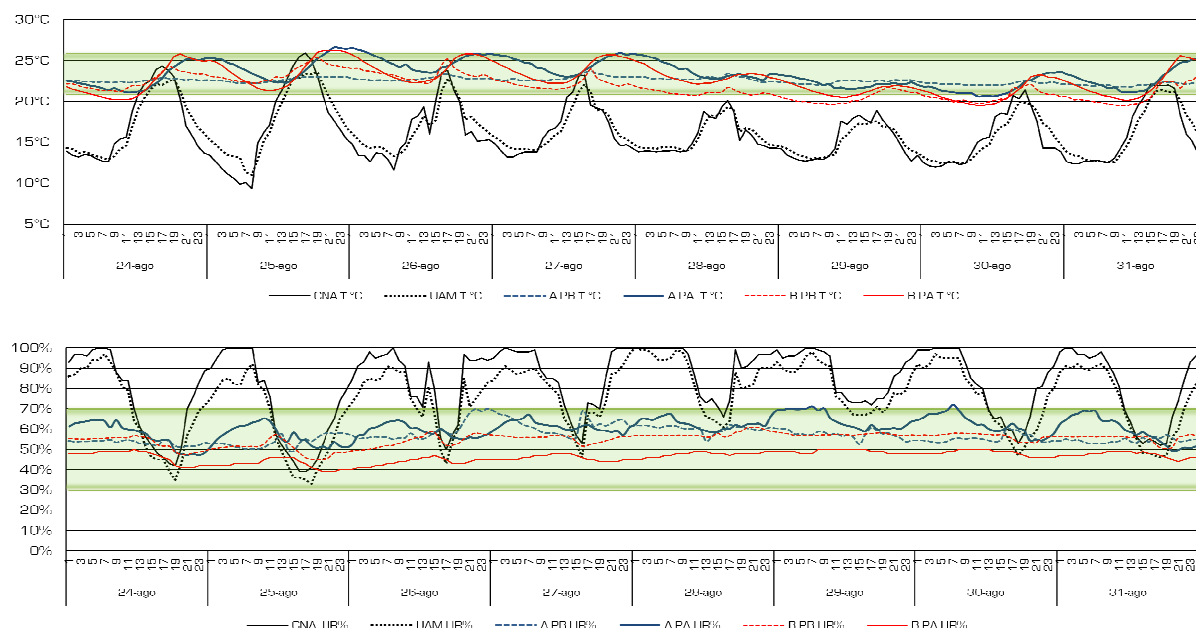
Gráfica 16. Temperatura. Junio 10-16, 2007

Al analizar cuatro días de junio en la gráfica 17, se observa que la vivienda B gana y pierde calor fácilmente, es decir que tiene baja inercia térmica: en este caso, el retardo térmico fue menor a 4 horas (Mahoney recomienda mayor a 8 horas). La diferencia de amplitud térmica fue 14K en el exterior, con amplitudes interiores de 4K en planta baja y 8K en planta alta (lo que evidentemente excede el rango de confort). La relación de dichas amplitudes (interior y exterior) se llama amortiguación (Fuentes, 2007) o amortiguamiento térmico; en este caso se tiene una amortiguación de 0.28 en PB y de 0.57 en PA. En la siguiente gráfica se trazó el amortiguamiento y retardo térmico de cada una de las plantas con respecto a la temperatura ambiente; se observa también el efecto de la radiación solar dentro de la vivienda y como, a pesar de ser el mes más cálido, la temperatura baja de la zona de confort por la disminución de radiación solar durante dos días nublados.



Gráfica 17. Retardo y amortiguamiento térmico vivienda B. Junio 19-22, 2007

Para el mes de agosto, se observa en la gráfica 18 que la mayor parte del tiempo el desempeño de ambas viviendas se encuentra dentro del rango de confort higrotérmico. Se corroboró desde el comienzo de las mediciones, la mayor vulnerabilidad de la planta alta respecto a la baja, pues el comportamiento térmico de la planta baja, de las dos viviendas, es notablemente más uniforme que el de la planta alta.

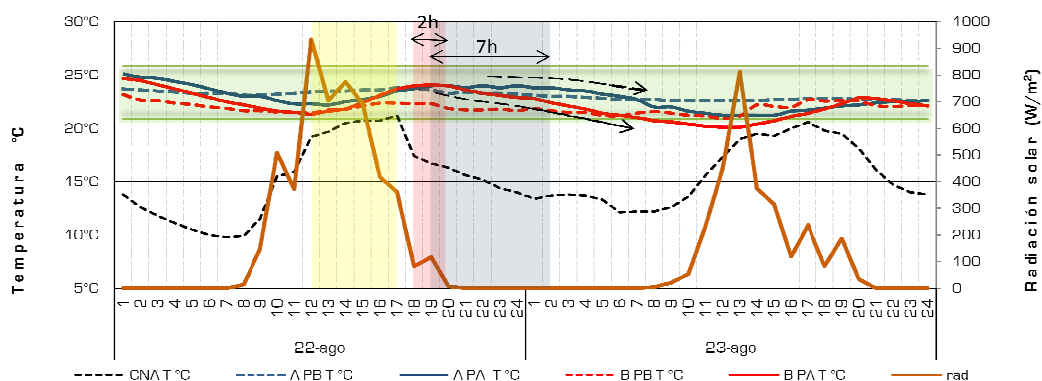


Gráfica 18. Temperatura y humedad relativa. Agosto 24-31, 2007

En la sensación de confort además de la temperatura influye la amplitud en la que ésta se desenvuelve; entre menos variación térmica tenga un espacio, sin atender a otros factores, se podría considerar más confortable. Al analizar la oscilación térmica promedio en este periodo de

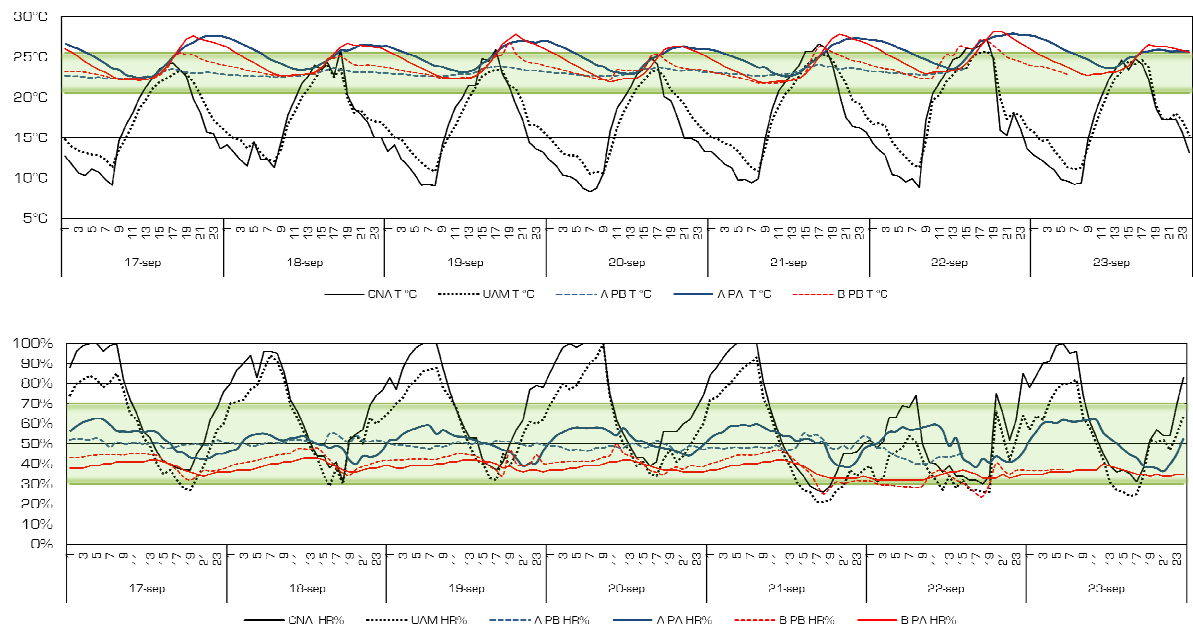
ocho días (agosto 24-31) se observa que en la PB A ésta es de menos de 1K (0.78K), es decir que, en este caso se mantiene una temperatura constante y cercana a la temperatura neutra (23.34°C). Al promediar el resto de las oscilaciones de la gráfica 18, se tiene para la PA A 3.28K; y en la vivienda B la oscilación en PB es de 2.57 y 3.94K en PA.

Al comparar las viviendas, se observa que la PA de la vivienda A con respecto a la de B, conserva el calor acumulado durante más tiempo, ya que el recorrido gráfico de la temperatura es más extendido en la mayoría de los días. En este caso particular (22 y 23 agosto) la vivienda A mantiene aproximadamente siete horas el calor ganado una vez que alcanzó su máxima temperatura a las seis de la tarde, contra dos horas de la vivienda B a partir de las 19h; a pesar de ser poca la diferencia en amplitud térmica, se aprecia la cualidad de una planta y otra para conservar la temperatura. En la gráfica 19 se presenta lo anterior: en línea negra punteada la temperatura, en línea anaranjada la radiación solar.



Gráfica 19. Retardo térmico vivienda A y B. Agosto 22 y 23, 2007

En el mes de septiembre, una de las características relevantes es que varios días existe sobrecalentamiento en ambas viviendas. En el periodo analizado en la gráfica 20 se observa que la planta alta de las dos viviendas empieza a salir de confort alrededor de las 18 horas, sin embargo la falta de capacidad de almacenamiento de calor de la vivienda B ocasiona que la temperatura descienda con mayor rapidez que la de vivienda A, por lo que la PA B alcanza la zona de confort entre una y tres horas después de que desciende la temperatura exterior, a diferencia de la PA A que lo hace entre tres y siete horas. Esto aparentemente sería una ventaja para la vivienda B, sin embargo será una desventaja en meses de enfriamiento.



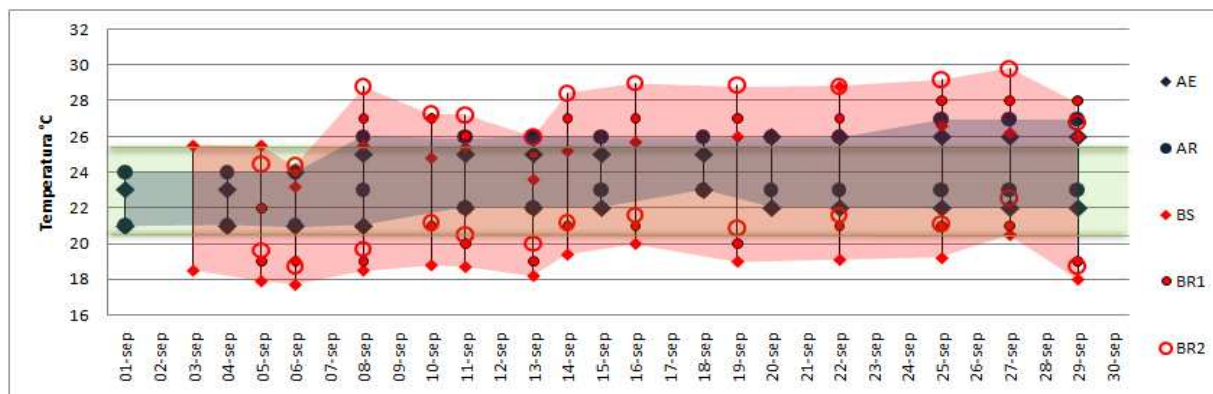
Gráfica 20. Temperatura y humedad relativa. Septiembre 17-23, 2007

Se observa que la PB B presenta menor inercia térmica que la PB A: la primera sale de confort algunas horas de la tarde (siete horas el 22 de septiembre). La PB A se mantiene nuevamente, muy cercana a la temperatura neutra mensual (23°C), pues en este mes promedia en las horas monitoreadas 22.6°C , con una oscilación mensual de 3.3K ; la vivienda B presenta un promedio en PB de 22.9°C , aún más cercano a la temperatura neutra, sin embargo registra mayores oscilaciones (oscilación mensual 7.2K).

Al analizar las oscilaciones térmicas diarias en promedio, se conoce que la planta alta de ambas viviendas sigue más estrechamente las condiciones exteriores respecto a la planta baja: la PB A tiene 1K de oscilación promedio, la PA alcanza 4.8K ; la vivienda B presenta oscilaciones diarias promedio mayores que la vivienda A, en PB B se tienen 3K y en la PA, 5.5K .

En la gráfica 21 se presentan las lecturas de temperatura máxima y mínima del mes de septiembre. Se observa que la oscilación térmica de la vivienda B respecto a la vivienda A es notablemente mayor; es decir que al atender no solamente al monitoreo constante, sino también a los espacios más extremos de cada una de las viviendas, se conoce que la vivienda A conserva en su conjunto temperaturas más uniformes y cercanas a la zona de confort pues se

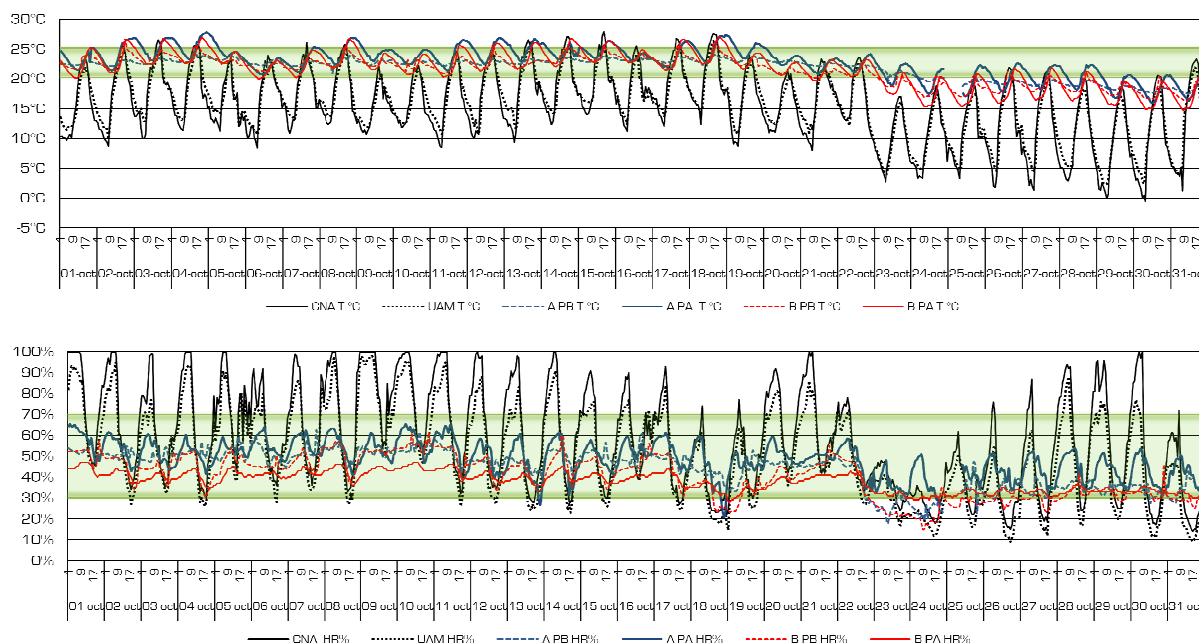
encuentra en un rango de 21 a 27°C (6K de diferencia); que la vivienda B que se ubica en un rango mayor que va de 18 a 30°C (12K).



Gráfica 21 Temperatura (máxima y mínima). Septiembre 2007

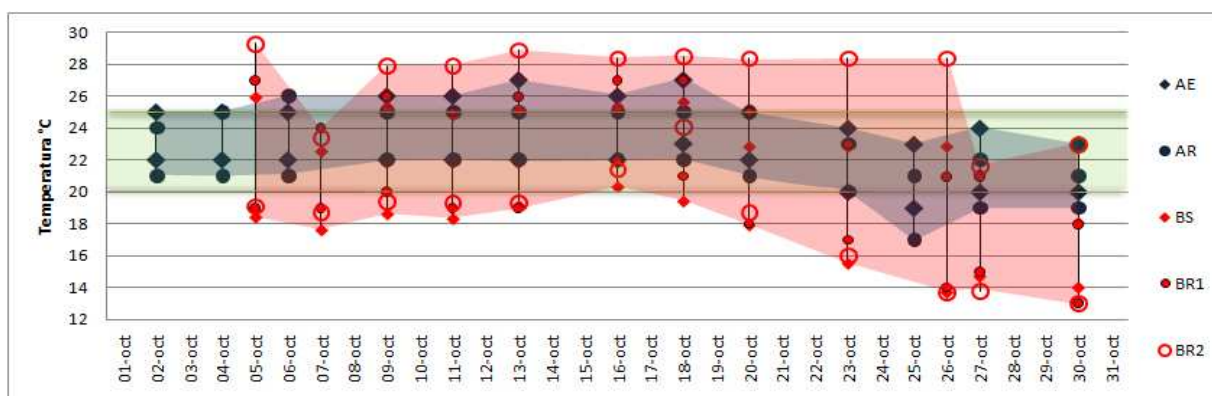
Como se vio al presentar la carta bioclimática en el capítulo anterior, los meses de transición de esta zona son abril y octubre. A continuación se presenta el análisis del mes de octubre en el que el comportamiento de la temperatura ambiente varía notoriamente de principio a final del mes, y en consecuencia, el comportamiento de las viviendas se ve afectado en función de que “el ambiente interior es el resultado del flujo de energía que se establece como consecuencia del clima y las cargas internas del edificio” (Machado, Britto, & Neila, 1999). En este mes, las viviendas exceden tanto el límite superior de confort en la primera mitad del mes como el límite inferior en la última semana. En la gráfica 22 se presenta el comportamiento de la temperatura y humedad relativa del mes de octubre. En cuanto a humedad relativa, se tiene confort la mayor parte del tiempo, excepto del 22 al 25 de octubre en los que el nivel de humedad se encuentra bajo el límite inferior de la zona de confort en ambas viviendas.

Atendiendo a la oscilación térmica mensual, se tiene para la PB A una diferencia de 6.6K y para la PA A de 11.8K; en la vivienda B, en PB la oscilación es de 10.26K y en la PA B el rango de temperatura mensual fue de 12.8K. Si se considera la oscilación térmica diaria promediada a lo largo del mes de octubre, se tienen: en la PB A 1.07K, en la PA A 4.02K, 2.58K de amplitud para PB B y 4.36K para PA B.



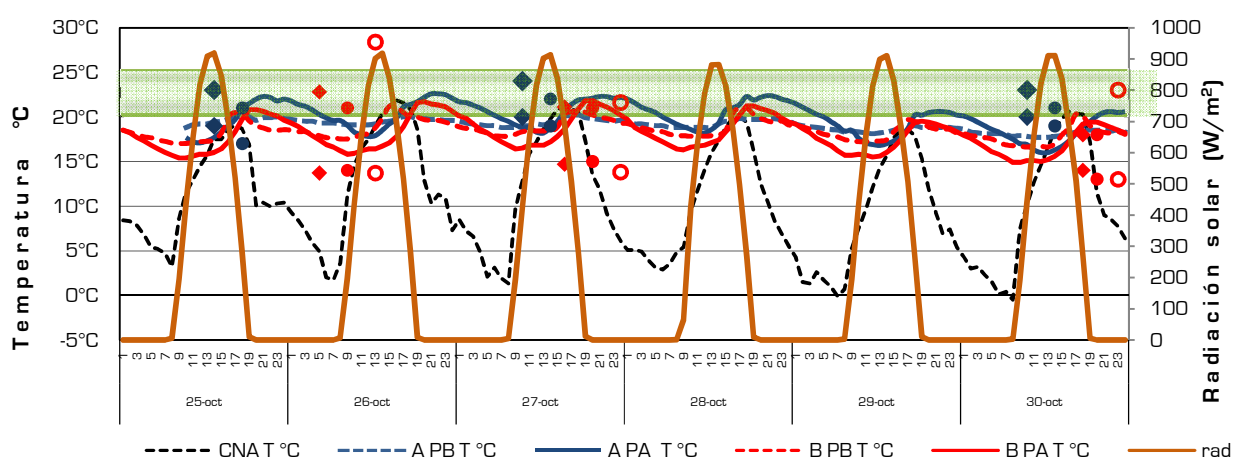
Gráfica 22. Temperatura y humedad. Octubre 2007

Al considerar las lecturas de temperatura máxima y mínima, se aprecian los rangos en los que se desenvuelve una vivienda y otra. Se aprecia, en los días del 20 al 26, cómo disminuye la temperatura en las dos viviendas; sin embargo, cabe señalar que en la vivienda B la diferencia de temperaturas dentro de un mismo espacio de un registro a otro, fue de hasta 14.7K, presentando lecturas de 13°C en la recámara 2 cuando el límite inferior de la zona de confort es de 20.2°C (gráfica 23).



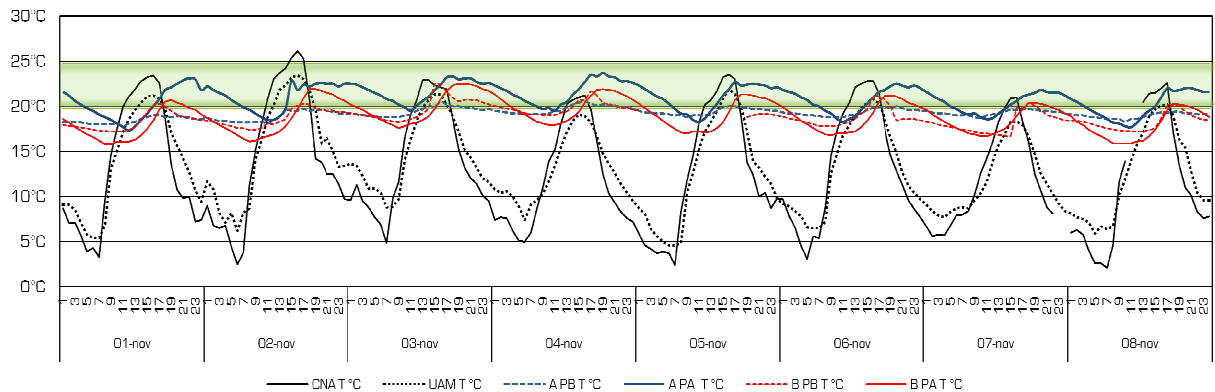
Gráfica 23. Temperatura (máxima y mínima). Octubre 2007

En la gráfica 24, se observa nuevamente que en la planta alta existe un descenso acelerado de la temperatura de la vivienda B con respecto a la vivienda A, misma que conserva más tiempo el calor recibido durante el día. Al observar las temperaturas máximas y mínimas, la vivienda B se aleja aún más de la zona de confort, y vislumbra que existen notables diferencias de un espacio a otro, lo cual afecta el confort de los usuarios que perciben fácilmente estas diferencias. Cabe destacar que en la gráfica 24 se aprecia un comportamiento de la radiación solar más uniforme que en los meses anteriores debido a la falta de nubosidad, pues en el mes de octubre la precipitación pluvial disminuye.



Gráfica 24. Temperatura y Radiación solar. Octubre 25-30, 2007

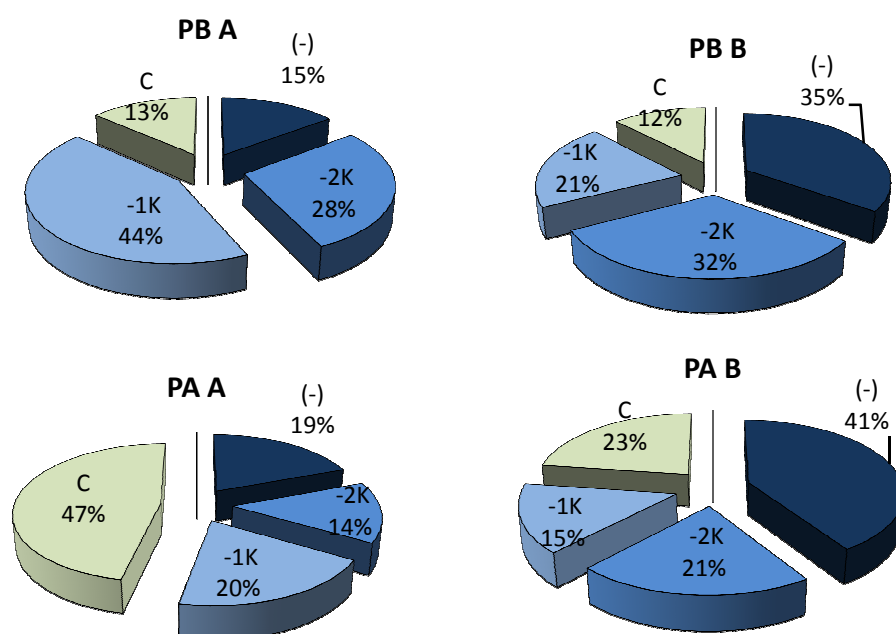
En el mes de noviembre, la temperatura interior se encuentra dentro de la zona de confort y en la zona de bajo calentamiento, es decir que en este mes ya no existe sobrecalentamiento. En el periodo que se seleccionó para la gráfica 25 (noviembre 1-8) se observa que la vivienda B se mantiene todo el tiempo con temperaturas menores a las de la vivienda A. La vivienda B, a pesar de que entra en confort varias horas de la tarde y noche, se aleja fácilmente del rango de confort. Así mismo se observa que a pesar de que ambas viviendas siguen un patrón relativamente similar en el monitoreo constante, la vivienda A tarda más tiempo en perder calor y menos en ganarlo y almacenarlo, que la vivienda B.



Gráfica 25. Temperatura. Noviembre 1-8, 2007

Se elaboraron gráficas mensuales de porcentaje para conocer el tiempo en que las viviendas se encontraron dentro y fuera de la zona de confort en función del número de horas monitoreadas y la temperatura registrada en cada una de ellas (gráfica 26 y similares). Se representa la zona de confort con la letra C y el color blanco; lo que se encuentra en disconfort cálido se representó con distintos tonos cálidos y se dividió en: (+) para temperaturas elevadas más de 2K del límite superior de la zona de confort, (+2) para un rango entre 1 y 2K sobre el límite superior de la zona de confort y (+1) para las temperaturas alejadas máximo 1K del dicho límite. Para el disconfort frío se utilizó la misma dinámica y se dividió en (-1K), (-2K) y temperaturas menores (-), y se indicaron con una gama azul. Se utilizó la escala descrita con el objetivo de visualizar de una manera más clara qué tan alejadas se encontraban de la zona de confort cada una de las plantas de ambas viviendas.

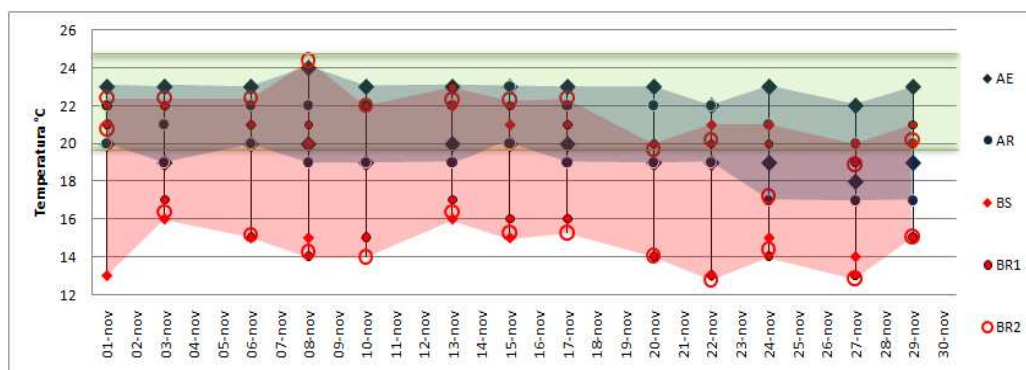
Se observa en la gráfica 26 que la planta baja de la vivienda A, únicamente el 13% del tiempo se está en confort, sin embargo, el 44% se encuentra a menos de 1K de alcanzar el límite inferior, es decir que más del 50% del tiempo la temperatura se encuentra en confort o muy cerca de él, a diferencia de la vivienda B, que en planta baja presenta el 12% de confort y el 21% a menos de 1K de alcanzar dicho confort. En planta alta, la vivienda A tiene 47% de las horas en confort y el 20% a menos de 1K de alcanzar el límite inferior, respecto a la planta alta de la vivienda B en la que el 23% del tiempo la vivienda se encuentra en el rango de confort y únicamente el 15% se acerca a este rango.



Gráfica 26. Porcentajes de confort térmico. Noviembre 2007

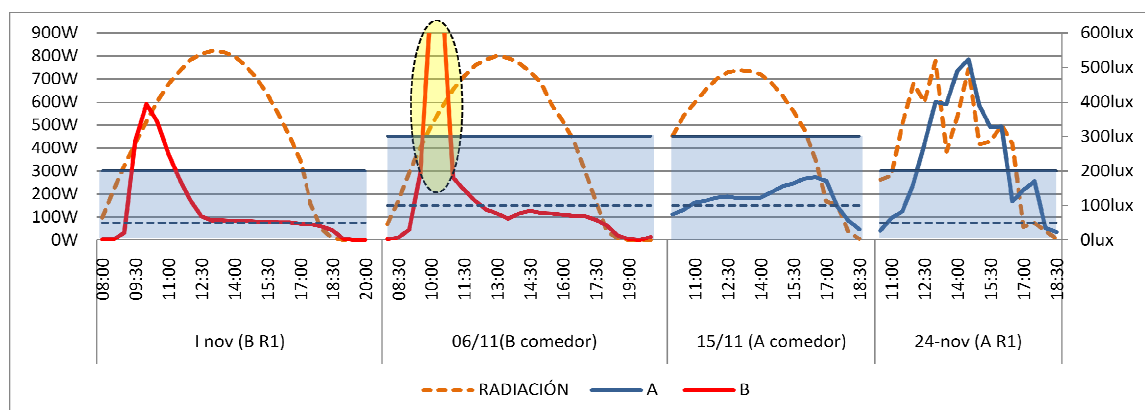
En el mes de noviembre se confirma nuevamente la menor vulnerabilidad de una planta baja respecto a una planta alta, pues las primeras son más estables; sin embargo al considerar porcentajes de confort térmico de todo el mes y como se vio en la gráfica anterior, la PA A y la PA B se encuentran más tiempo dentro de la zona de confort por lo que se infiere que el reto de las plantas altas es no dejar salir el calor ganado en tiempo de frío, y que en las plantas bajas se requieren mayores ganancias térmicas.

Al considerar las temperaturas máximas y mínimas del mes de noviembre, se observa en la gráfica 27 que el rango de temperaturas en el que se desempeña la vivienda B es notoriamente mayor al de la vivienda A. Recordando que se evaluaron los espacios más extremos de cada vivienda; se visualiza que la vivienda B tiene mayores diferencias de temperatura de un espacio a otro respecto a la vivienda A que se mantiene en conjunto dentro de un rango más estrecho.



Gráfica 27. Temperatura (máxima y mínima). Noviembre 2008

Como se mencionó, a lo largo de las mediciones de temperatura y humedad, se evaluó también el nivel de iluminación natural de las viviendas de manera cualitativa y cuantitativa. Se presentan en la gráfica 28, cuatro días del mes de noviembre: en línea punteada, con escala del lado izquierdo la radiación solar (W/m^2); del lado derecho se tiene la escala en lux. Las líneas en rojo y azul corresponden a la vivienda B y A respectivamente. Se señala con una franja azul claro lo que queda bajo el nivel lumínico mínimo recomendable (García, 2001), que como se puede observar varía según el espacio: para las recámaras es de 200 lux en el área de la cabecera, sin embargo en la habitación en general es de 50lux (línea punteada). Se presenta para ambas viviendas, un espacio en planta alta y uno en planta baja. Cabe mencionar que los niveles lumínicos señalados en el Reglamento de Construcción del Estado de Zacatecas (1983) para uso habitacional son prácticamente nulos (únicamente especifica 30 lux en circulaciones) por lo que no se consideraron como referencia.



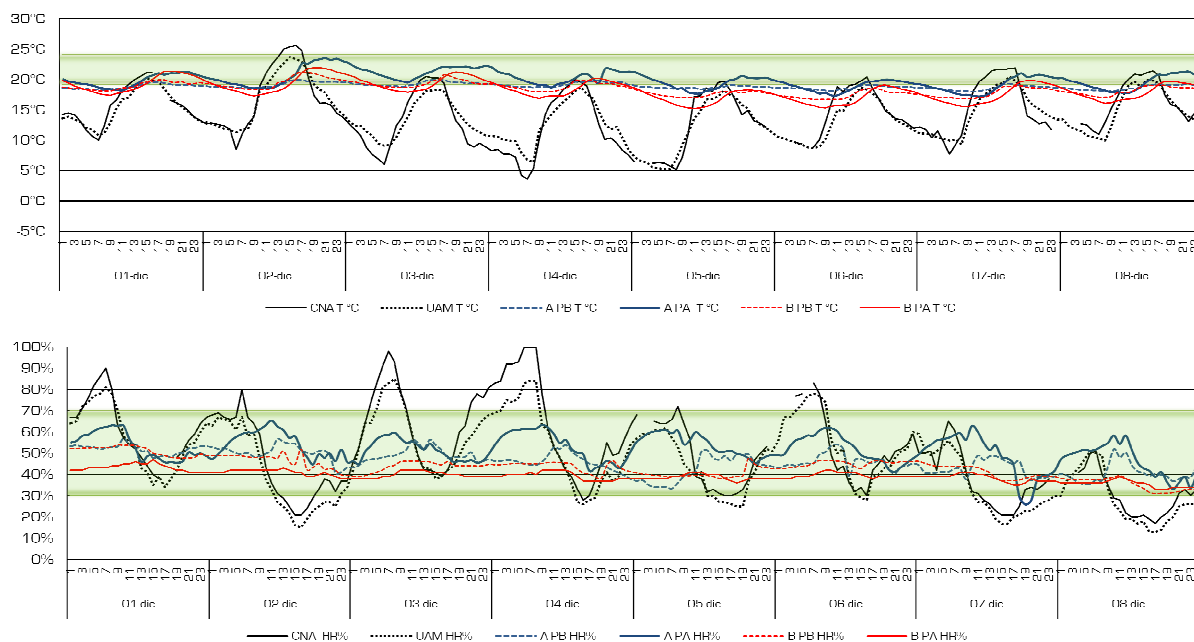
Gráfica 28. Iluminancia Casa A y Casa B. Noviembre 2007

La vivienda B en la recámara 1, con orientación Este y un plano de trabajo de 80cm, presenta muy buena iluminación en las primeras horas del día, sin embargo cuando la incidencia solar baja este espacio se oscurece, no obstante se encuentra en el límite recomendado (línea punteada). Se observa, en el comedor de la vivienda B mala iluminación puesto que se encuentra bajo el límite excepto entre las 10 y las 11 horas que presenta deslumbramiento tal que el luxómetro por la escala en que se programó no alcanzó a registrar varios datos por la incidencia solar, se utilizó un plano de trabajo a la altura de la mesa de 75cm.

En la vivienda A, por efectos prácticos el luxómetro no se colocó en la mesa del comedor, sino cerca de la escalera a una altura de 78cm (300 lux requeridos sobre la mesa, 100 lux en el área general del comedor) se observa que la mayor parte del tiempo se está sobre el nivel lumínico mínimo recomendado para el área general. En la recámara 1 de la vivienda A, a pesar de ser un día con presencia de nubosidad, tiene excelentes niveles de iluminación.

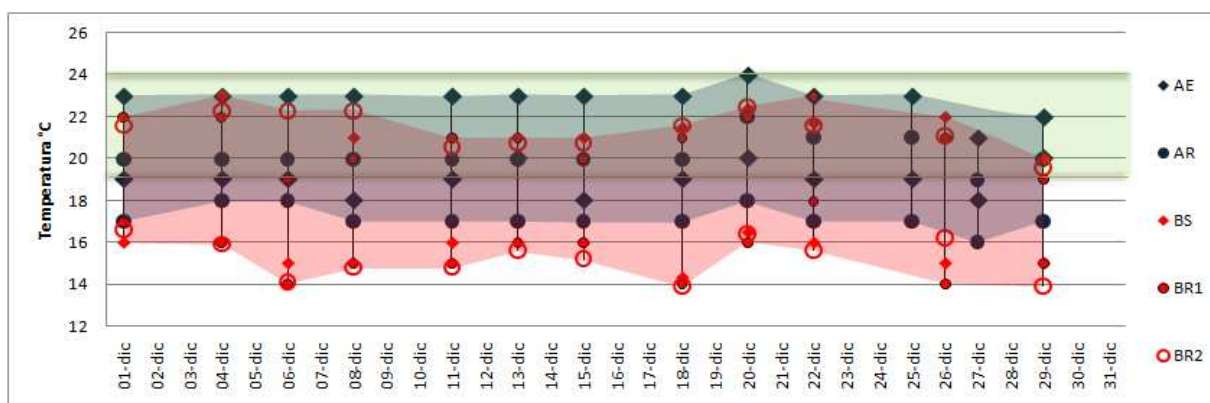
Se seleccionó la primera semana de diciembre como periodo representativo. Se observa, en la gráfica 29 que la PB A mantiene gran amortiguamiento térmico y sus oscilaciones son de 1.9K, sin embargo en ocasiones sale de la zona de confort debido a que maneja temperaturas de 18 a 19.9°C y el límite inferior de la zona de confort es de 19.13°C, por lo que nuevamente se infiere que esta planta únicamente requiere mayores ganancias, pues tiene gran capacidad de almacenamiento térmico. En la PA de la misma vivienda, las temperaturas del periodo analizado oscilan 6.3K con temperaturas que van de 17.2 a 23.5°C. En la vivienda B, para el periodo del 1 al 8 de diciembre, se tienen temperaturas más bajas entre 16.75 y 21.11°C (oscilación de 4.36K) en la PB y en PA entre 15.2 y 21.9°C (oscilación de 6.7K).

Respecto al comportamiento de la humedad relativa, se aprecia en la parte inferior de la misma gráfica, que las viviendas se encuentran en confort, a excepción del 7 de diciembre en el que la PA A es menor a 30%, límite inferior de la zona de confort, sin embargo se aleja solamente 4%.



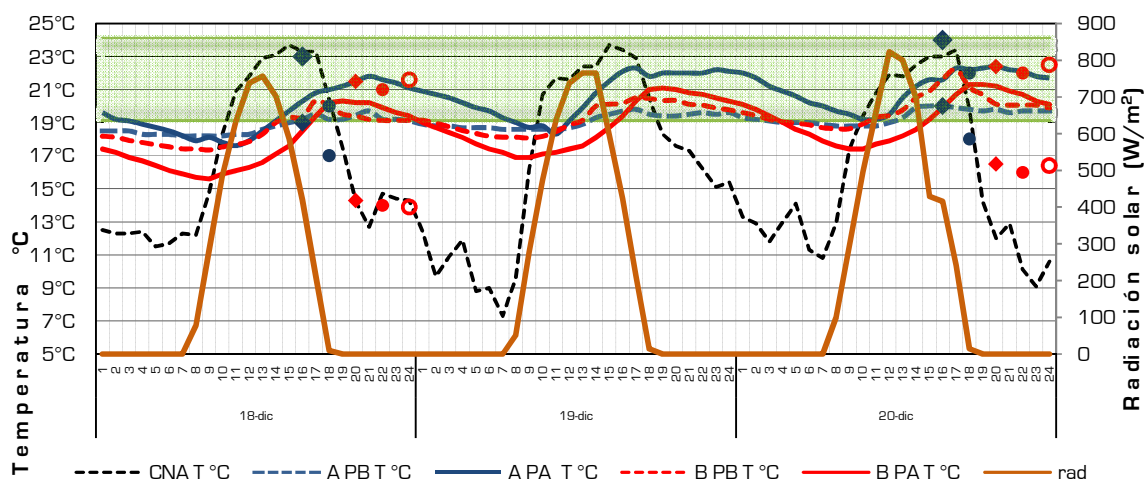
Gráfica 29. Temperatura y humedad relativa. Diciembre 1-8, 2007

En la gráfica 30 se observa que las temperaturas máximas de los espacios analizados se encuentran en el rango de confort a diferencia de las temperaturas mínimas. La vivienda A mantiene nuevamente temperaturas más elevadas; las temperaturas extremas de la vivienda B se alejan hasta 5K de la zona de confort. Cabe recordar que los espacios que se analizaron para temperaturas máximas y mínimas son principalmente habitaciones, por lo que el hecho de que presenten temperaturas extremas tan bajas es una desventaja para ambas viviendas: en A, 16°C (AR); en B 14°C (BR1) y 13.9°C (BR2) .



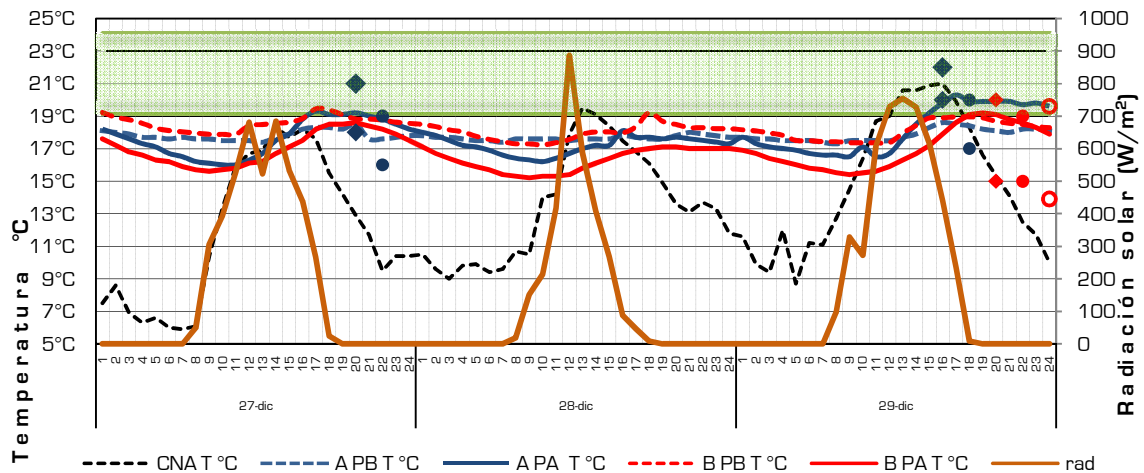
Gráfica 30. Temperatura (máxima y mínima). Diciembre 2007

Al analizar un periodo de tres días, se observa en la gráfica 31 que la vivienda A se mantiene más cerca o dentro de la zona de confort durante más tiempo que la vivienda B, sin embargo ambas viviendas salen de confort en mayor y menor proporción. Las temperaturas máximas y mínimas, muestran que la vivienda A conserva en conjunto temperaturas más uniformes dentro de sus espacios, lo que influye en la sensación de confort. Así mismo se observa que la vivienda B maneja temperaturas más variadas lo cual se traduce en cambios bruscos de temperatura de un espacio a otro, y esto a su vez afecta la sensación de confort térmico de los usuarios.



Gráfica 31. Temperatura y Radiación solar. Diciembre 18-20, 2007

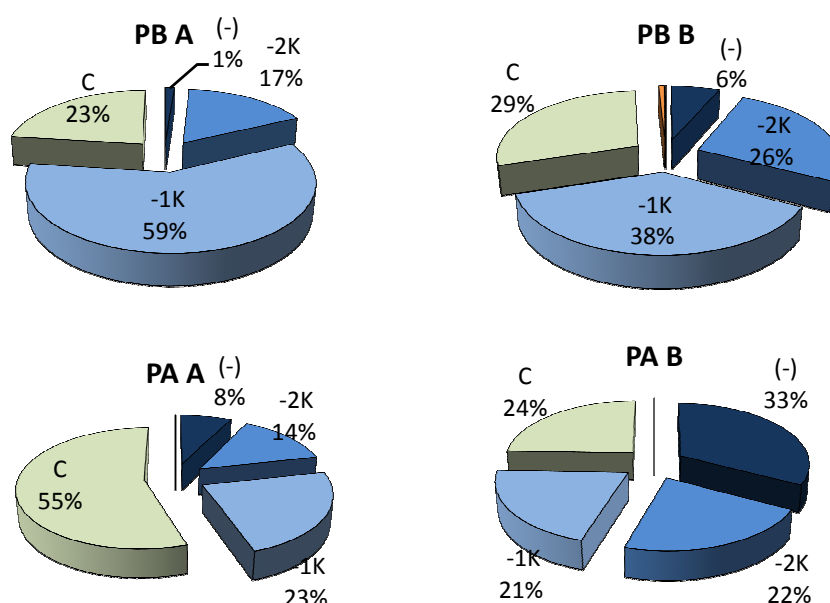
En la gráfica 32, se observa que ambas viviendas salen de confort durante prácticamente todo el periodo analizado. En planta baja, la vivienda A mantiene una temperatura muy constante, sin embargo no entra a la zona de confort (17.8°C en promedio: 1.35K bajo el límite inferior de la zona de confort) y la vivienda B en PB se mantiene arriba de la PB A (18.2°C en promedio: 0.9K bajo el límite inferior de la zona de confort). Al considerar las lecturas de máximas y mínimas de ambas viviendas, se tiene que en PB (simbolizada con un rombo) las temperaturas son más confortables en la vivienda A que en la vivienda B.



Gráfica 32. Temperatura y Radiación solar. Diciembre 27-29, 2007

Otra consideración importante, es la variación de temperatura entre la planta baja y la planta alta de una vivienda. Por lo que si en el periodo analizado anteriormente (27-29 dic.), se toma en cuenta la diferencia térmica de los niveles a la misma hora, se tiene en promedio para la vivienda A 0.76K y para la vivienda B de 1.48K, alcanzándose diferencias de 1.9K en la vivienda A y de 2.3K en la vivienda B.

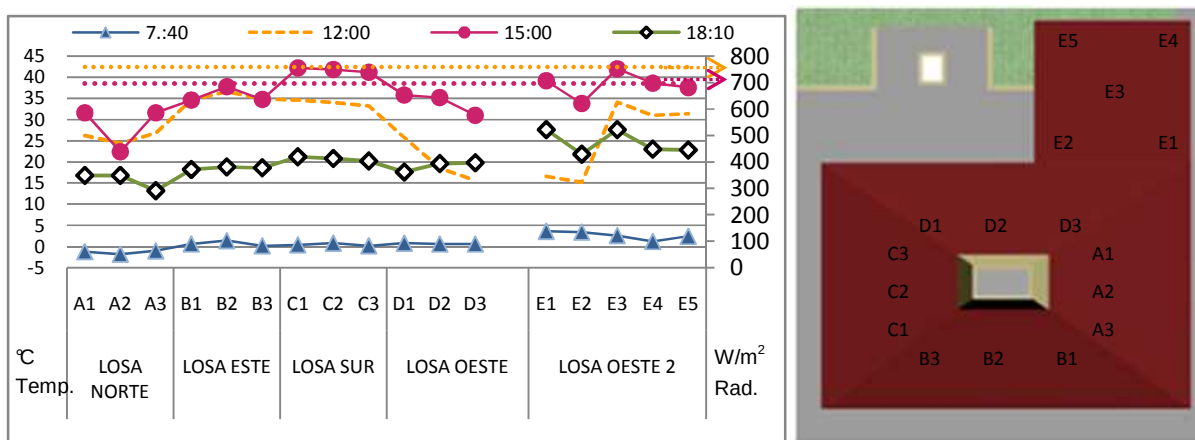
En la gráfica 33 se muestran los porcentajes de confort obtenidos en el mes de diciembre. Se observa que de 744 horas medidas, en la vivienda A en planta baja, solamente 171 horas (23%) se encuentran en la zona de confort, sin embargo 440 horas (59%) se encuentran a menos de 1K de alcanzar la zona de confort; en la PA A se tienen 411 horas en confort, lo que representa el 55%, y 173 horas (23%) a menos de 1K de alcanzar dicha zona. Para la vivienda B se tienen en PB 216 horas en confort (29%) y 279 a -1K de confort lo que sumaría el 67% de las horas cerca o dentro de confort. En PA, B se tienen solamente 182 horas en confort (24%) y 155 cerca de éste. Al considerar las temperaturas que se acercan al rango de confort se refleja que la vivienda A se desenvuelve en temperaturas menos oscilantes que la vivienda B, puesto que la mayor parte del tiempo se encuentra cerca del rango de confort.



Gráfica 33. Porcentajes de confort térmico. Diciembre 2007

Como se ha visto a lo largo de los resultados, la PA es notoriamente más vulnerable a las variaciones climáticas exteriores que la PB, es decir que, independientemente de su nivel de temperatura, responde con mayor rapidez a las condiciones del exterior. De acuerdo a ello y sabiendo que “el edificio es susceptible a pérdidas y ganancias a través de su envolvente, y que ésta es la responsable de mantener niveles estables de humedad y temperatura dentro de los rangos aceptados para el cuerpo humano” (Machado, et al., 1999), se estudió con mayor atención la envolvente y se registraron algunas temperaturas superficiales. Considerando que, cualitativamente se cuenta con la misma superficie de pared en una planta y otra, se derivó que gran parte de la afectación de las condiciones interiores, sobre todo de la de la PA se debe a la cubierta, que además representa gran superficie con respecto al resto de la envolvente.

Se realizó un ejercicio de mediciones de temperaturas superficiales interiores y exteriores de la cubierta de la vivienda B (gráfica 34). Se trazó en la loza de azotea una retícula exterior con 17 puntos, y se tomaron temperaturas superficiales a las 7:40, 12:00, 15:00 y 18:10 con el objetivo de conocer la temperatura antes de que el sol calentara la losa, de cuando el sol estaba en el punto más alto, a la hora más caliente del día y finalmente a la puesta del sol. Del lado derecho de la gráfica, se presenta la planta de azotea con los puntos de medición señalados en la gráfica. Se muestra la radiación solar a las 12h (759 W/m^2) y la de las 15h (696 W/m^2), a las 7:40 y 18:10h no se registró radiación solar.



Gráfica 34. Temperatura superficial exterior cubierta casa B. 31 de diciembre de 2007

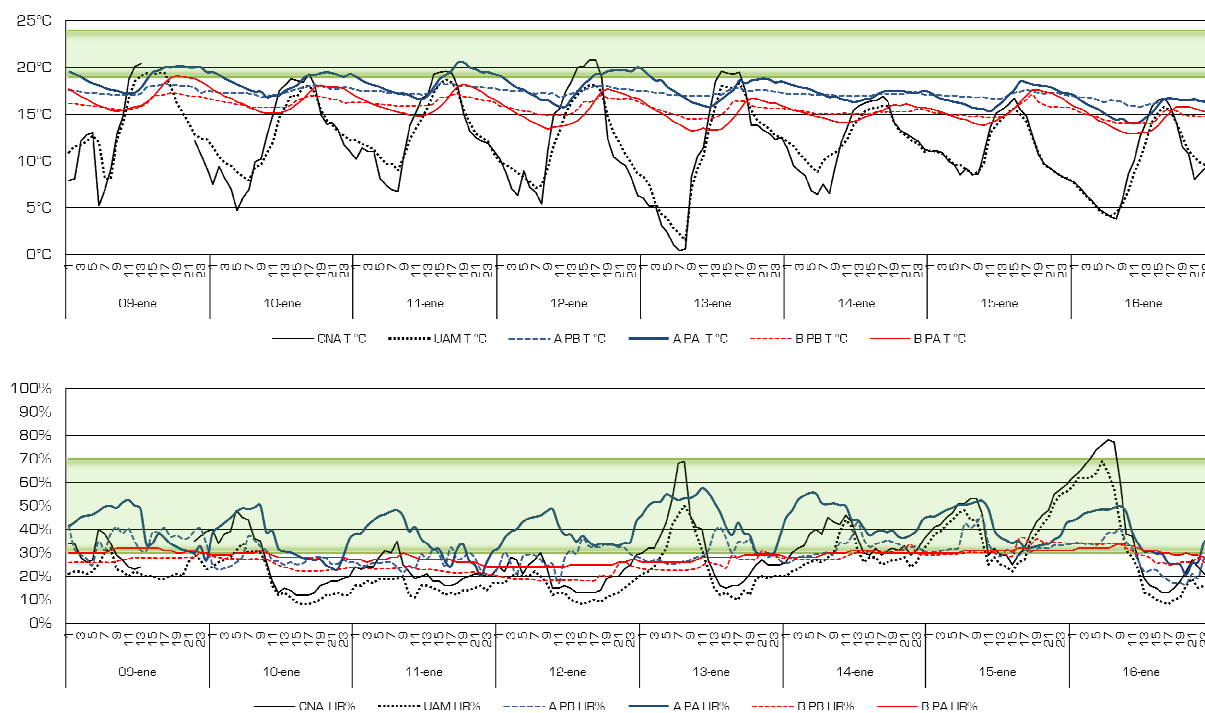
Se puede observar que las temperaturas tuvieron grandes variaciones en una jornada de 8hr, ya que se registraron oscilaciones de más de 40K (al exterior), pues a las 7:40 de la mañana la losa alcanzaba temperaturas menores a 0°C en el lado norte y a las 3 de la tarde se registraron lecturas de más de 40°C en el lado orientado al sur. Al interior, en los mismos puntos, las temperaturas se encontraron en un rango entre 7 y 9°C a las 7:40 de la mañana y alcanzaron temperaturas a las 6 de la tarde entre 21 y 28°C. A diferencia de la temperatura superficial exterior, que alcanza su punto máximo alrededor de las 3 de la tarde: al interior las temperaturas superficiales son mayores a las 6 de la tarde, debido al calor acumulado durante el día. Así mismo, se observó el efecto de la orientación en una cubierta a 4 aguas, debido a que la parte que se encuentra orientada al norte, respecto a la sur maneja notablemente temperaturas más bajas tanto en el interior como en el exterior.

De acuerdo con el análisis climático, el mes de enero es el que presenta condiciones ambientales menos favorables; con base en el monitoreo realizado se observa que a lo largo del mes la vivienda B se mantiene todo el tiempo más alejada de la zona de confort que la vivienda A. Cuando las condiciones exteriores mejoran, únicamente la planta alta de cada vivienda entra en confort térmico, es decir que en este mes la planta baja de las dos viviendas, se mantiene con temperaturas más estables (sobre todo la vivienda A) pero generalmente, menos confortables la mayor parte del tiempo.

Así mismo, hay ocasiones en las que el nivel de humedad relativa desciende del límite de confort, sobre todo en la planta baja de ambas viviendas. Se presentan periodos hasta de 4

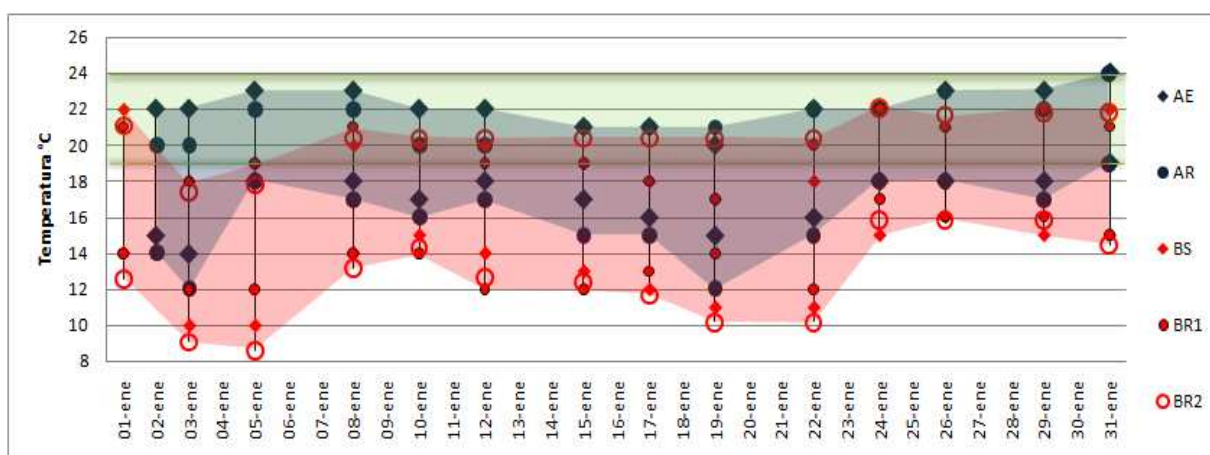
días en los que la vivienda B sale del rango de confort higrométrico, tanto en planta baja como en planta alta. Se sabe que si la humedad no es extremadamente alta o baja tiene poco efecto en la sensación de confort; sin embargo cuando la temperatura se encuentra bajo la zona de confort, como en este periodo, el aire muy seco (debajo de 20%) aumenta la sensación de frío, y el cuerpo humano es más susceptible a infecciones y enfermedades (Szokolay, 1980).

Como periodo representativo se muestran los días del 9 al 16 de enero (gráfica 35), en la que se observa que la tendencia de la temperatura exterior a disminuir de un día a otro, afecta notablemente las condiciones al interior de ambas viviendas, que al igual que las condiciones exteriores, disminuyen de un día a otro y se alejan más de los niveles de confort. En este periodo, solamente la PA de la vivienda A alcanza la zona de confort térmico. En cuanto a confort higrométrico, se observa que la vivienda B se mantiene fuera de éste durante varios días, así como la PB de la vivienda A.



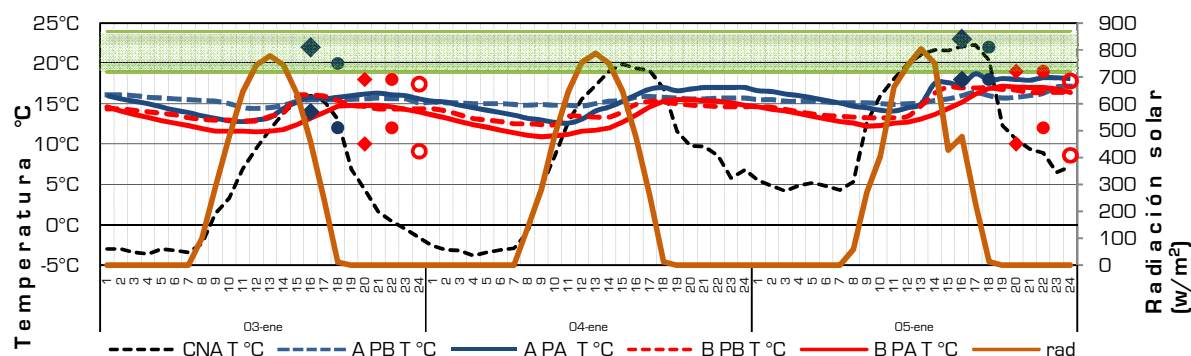
Gráfica 35. Temperatura y humedad relativa. Enero 9-16, 2008

En la gráfica 36, se observa que en los espacios más extremos de las viviendas se alcanzaron, durante el mes de enero, temperaturas de: 12°C en el cuarto de estudio y de 14°C en la recámara posterior de la vivienda A; y en la vivienda B de 10°C en la sala 2, y de 12°C y 8.6°C en las recámaras 1 y 2 respectivamente. Sin embargo hay que mencionar también, que estos espacios alcanzan temperaturas de confort debido a que las temperaturas máximas se encuentran en el rango de 19 a 24°C, a excepción de los primeros días del mes, en los que los espacios de la vivienda B no alcanzan dicho rango.



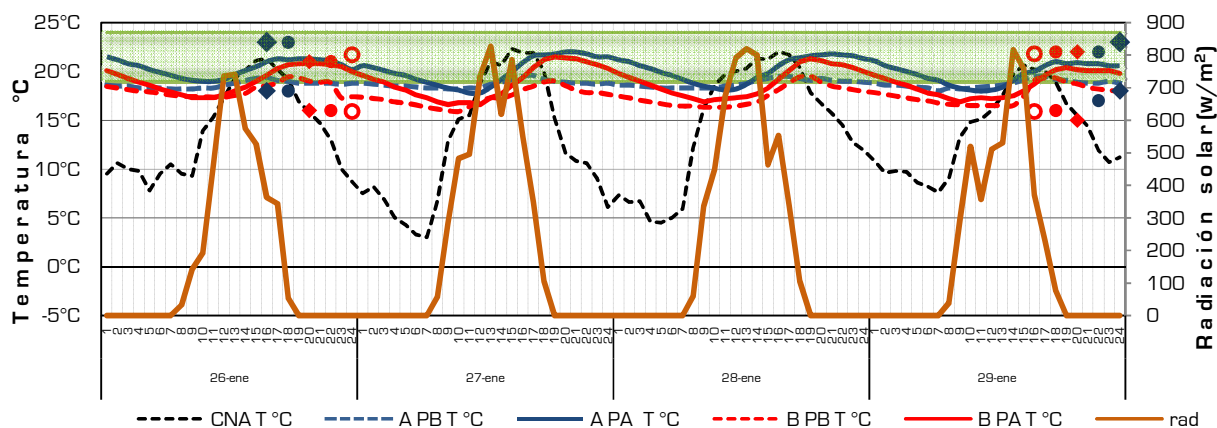
Gráfica 36. Temperatura (máxima y mínima). Enero 2008

Se analizó un periodo crítico de 3 días (gráfica 37), en el que las dos viviendas se encuentran en disconfort durante todo el tiempo. Se observa nuevamente que la vivienda B se mantiene más abajo que la vivienda A y que a pesar de que existen temperaturas bajas, la capacidad de almacenar el calor es mayor en la vivienda A que en la B. En este caso analizado, se tiene una amortiguación promedio de 0.08 para la planta baja de la vivienda A, que como se observa en la gráfica mantiene una temperatura que oscila en menos de 2.3K. La planta alta de esta misma vivienda tiene menor capacidad para amortiguar la temperatura por lo que su relación es de 0.2. En la vivienda B, se encuentra una diferencia notoria en la planta baja pues el amortiguamiento térmico para estos tres días es de 0.16 y para la planta alta fue de 0.21, ésta última muy similar a la PA A pero con temperaturas menores. Al analizar las temperaturas máximas y mínimas de la misma gráfica, se observan temperaturas muy alejadas de la zona de confort sobre todo de la vivienda B.



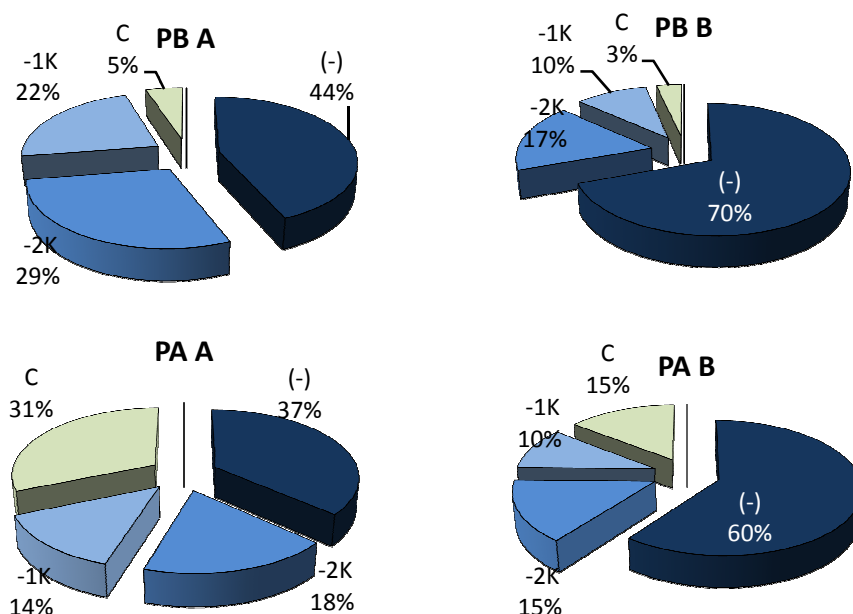
Gráfica 37. Temperatura y Radiación solar. Enero 3-5, 2008

En la gráfica 38, se presenta el periodo más favorable del mes de enero, en el que a lo largo de 4 días se observa que la vivienda A se encuentra la mayor parte del tiempo en confort o muy cerca de él, la vivienda B entra en la zona de confort en su planta alta pero sale de ésta gran parte del tiempo; la planta baja de la vivienda B se mantiene todo el tiempo fuera de ella y se aleja más que las anteriores.



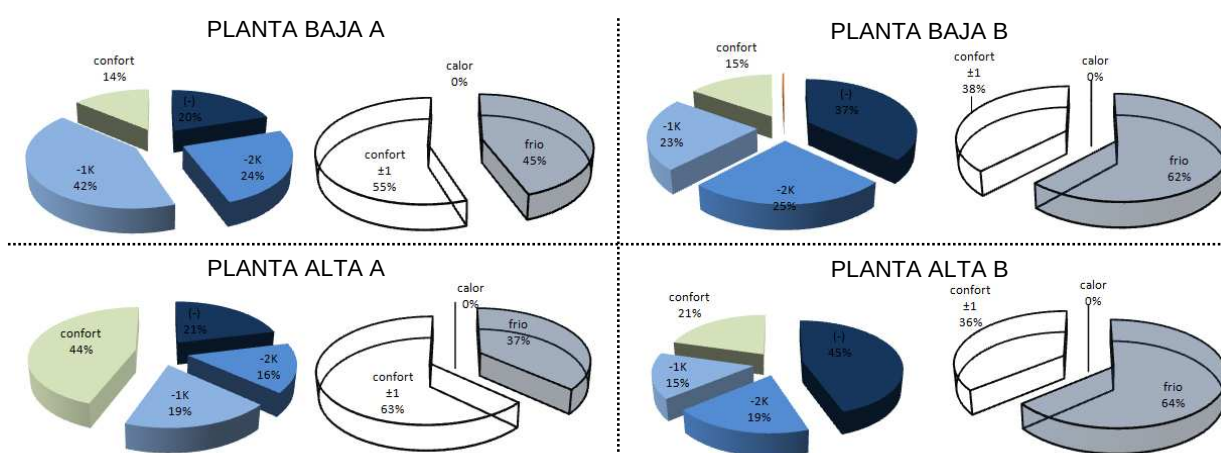
Gráfica 38. Temperatura y Radiación solar. Enero 26-29, 2008

Al analizar en porcentaje el mes de enero, se observa en la gráfica 39 que el tiempo en confort es muy bajo, sin embargo existe una marcada diferencia en porcentaje de las horas que se alejan más de 2K del límite inferior de la zona de confort, que como se observa para la vivienda B es la mayor parte del tiempo (más del 50%).



Gráfica 39. Porcentajes de confort térmico. Enero 2008

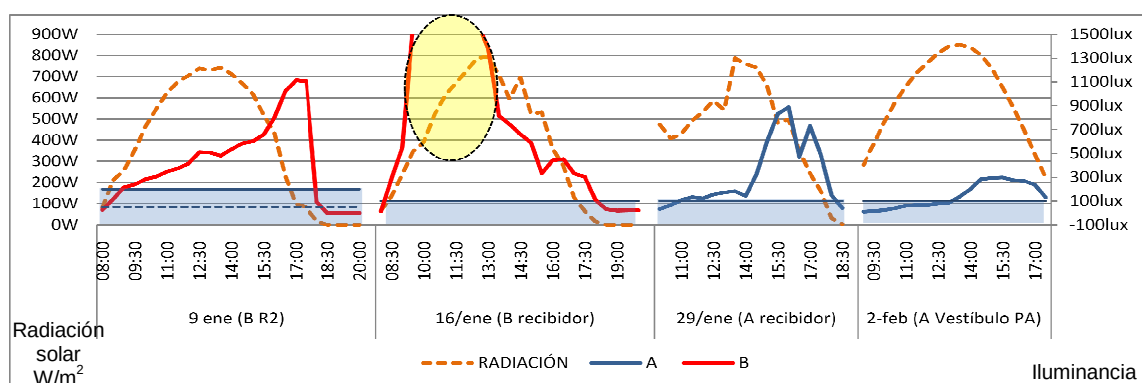
Al analizar en conjunto los meses de noviembre a enero, se tiene que la PB A se encuentra el 14% del tiempo en confort, sin embargo el 55% se acerca o entra a dicho rango. La vivienda B en planta baja se encuentra el 15% de las horas en confort, y el 38% dentro o cerca del mismo. En PA A se tiene el 44% en confort, si se considera lo que se encuentra a -1K de dicho rango, el 63% del tiempo se está cerca o dentro de la zona de confort, lo que para el caso de la vivienda B representó el 21% en confort y el 36% cerca o dentro de éste (gráfica 40).



Gráfica 40. Porcentajes de confort. Noviembre 2007-Enero 2008

En cuanto a evaluación lumínica del mes de enero, en la gráfica 41, se presentan 4 días en los que se analiza un espacio de cada planta de ambas viviendas. En general, lo que se apreció durante las corridas de datos lumínicos, es que la vivienda B presenta mayores niveles de iluminación, incluso exagerados, pues en las horas de mayor incidencia solar existe deslumbramiento en algunos de los casos, como se señala el 16 de enero en el que el nivel de iluminación excedió la capacidad del luxómetro para registrar datos; así mismo el día 9, en una recámara con orientación Oeste, se observa el efecto de la incidencia solar directa sobre pisos e incluso paredes por la dimensión de las ventanas, con la cual se sobrepasan los 1000lux durante varias horas de la tarde. Se observa que los niveles de la vivienda A son menores, pero generalmente apropiados. El nivel de iluminación adecuado se señala con una línea azul.

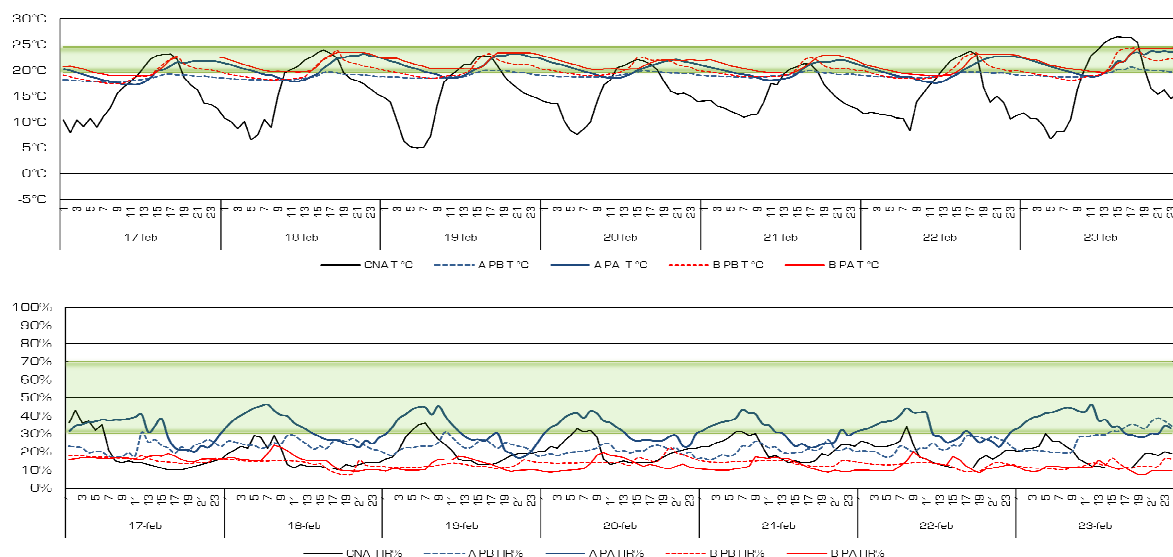
No se presentan más gráficas de iluminación debido a que el objetivo de esta tesis es únicamente conocer la calidad lumínica de los espacios, para relacionarla con los niveles de temperatura, lo que sugiere que el exceso de iluminación de la vivienda B, por la gran dimensión de sus ventanas, provoca a su vez gran parte de las pérdidas y ganancias térmicas.



Gráfica 41. Iluminancia Casa A y Casa B. Enero, Febrero 2008

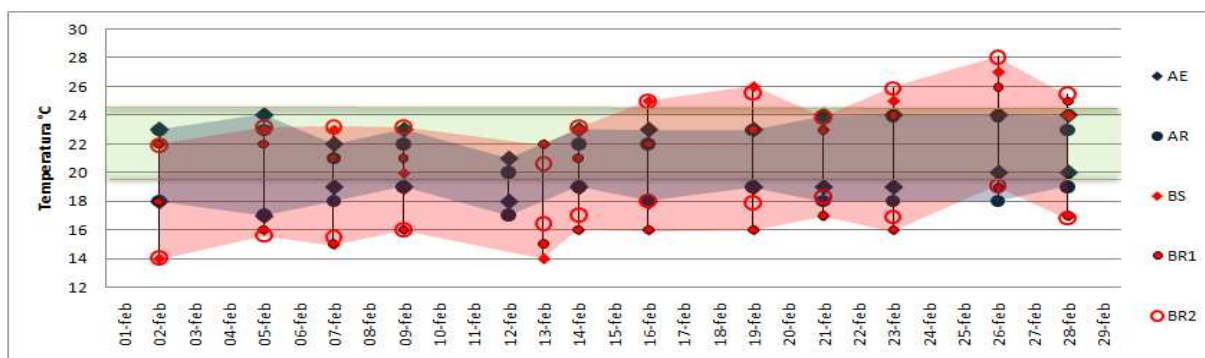
El mes de febrero, es un mes de gran variación climática y de transición entre el periodo frío y el cálido. Esta variación se refleja a su vez en el comportamiento de las viviendas que como se observa en la gráfica 42, en general en este mes las viviendas se comportan de manera muy similar y se mantienen más tiempo dentro de la zona de confort térmico, sin embargo no entran a la zona de confort higrométrico (excepto la PA A). La PB de la vivienda A se acerca a la zona de confort higrométrico pero no entra a ella y la vivienda B en este periodo presenta niveles de

humedad muy bajos lo que, como se vio anteriormente, influye también en la percepción de la temperatura.



Gráfica 42. Temperatura y humedad relativa. Febrero 17-23, 2008

En la siguiente gráfica se observa en las lecturas de máximas y mínimas que a pesar de encontrar mayor confort y estabilidad en este mes, los espacios siguen registrando temperaturas que se alejan en gran medida del rango de confort, sobre todo la vivienda B que incluso presenta sobrecalentamiento a partir de la segunda mitad del mes (gráfica 43).



Gráfica 43. Temperatura (máxima y mínima). Febrero 2008

En resumen, bajo condiciones de evaluación reales durante varios meses, la vivienda A demostró tener un mejor comportamiento térmico que la vivienda B, salvo algunas excepciones. La primera se mantiene la mayor parte del tiempo más cerca o dentro del rango de confort térmico; se vio en las gráficas, sobre todo durante el periodo invernal, que la vivienda A tarda más tiempo en calentarse y en enfriarse, es decir cuenta con mayor inercia térmica que la vivienda B en la cual el calor acumulado, que es mayor en las horas de radiación directa sobre su fachada poniente y al interior de sus espacios, baja rápidamente cuando se oculta el sol. Así mismo, en los resultados de las mediciones se observa gran estabilidad térmica en la planta baja de la casa A.

Ambas viviendas siguen el mismo patrón aunque en diferente proporción durante el monitoreo continuo de temperatura y humedad relativa, sin embargo existen grandes diferencias cuando se consideran las lecturas máximas y mínimas, en las que se deja ver que la vivienda A conserva una temperatura más uniforme durante todo el tiempo, a diferencia de la vivienda B en la que las variaciones de temperatura son de hasta 3K de un espacio a otro en un mismo nivel, lo cual es percibido rápidamente y afecta la sensación de confort de los usuarios.

Con respecto a confort higrométrico se observa que la mayor parte del tiempo las viviendas se mantienen en el rango de confort, con excepción de algunos periodos de los meses de diciembre a febrero en los que se observó que ambas viviendas se encuentran con niveles de humedad inferiores a los establecidos como confortables, lo que como se mencionó aumenta la sensación de frío al interior de los espacios.

En cuanto a las evaluaciones cualitativas y cuantitativas de las condiciones lumínicas, la vivienda B manejó siempre mayores niveles lumínicos que la vivienda A debido al tipo de vidrio y a la dimensión de los vanos. Sin embargo se apreció que el tamaño de las ventanas brindó en ocasiones exceso de iluminación a la vivienda B, lo que a su vez provocó descensos en la temperatura.

En el siguiente capítulo, se complementa la parte del monitoreo ambiental con un análisis de eficiencia energética en el que se aplica el anteproyecto de NOM-020 y una auditoría energética a cada vivienda.

DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

En este capítulo se presenta un diagnóstico energético de los casos de estudio, el cual consiste en la evaluación de la eficiencia energética de las viviendas, utilizando los criterios establecidos por el anteproyecto de NOM-020-ENER “Eficiencia energética en edificaciones. Envoltente de edificios residenciales”; y en el análisis del consumo de energía eléctrica dentro de cada vivienda, aplicando la metodología para Auditoría Energética desarrollada por el Dr. Rubén Dorantes Rodríguez del Área de Termofluidos del Departamento de Energía de la UAM-Azcapotzalco.

4.1 Evaluación de eficiencia energética Anteproyecto de NOM-020-ENER

El propósito del anteproyecto de NOM-020-ENER, mismo que en lo subsecuente será referido como anteproyecto, es “limitar la ganancia de calor de los edificios residenciales a través de su envoltente, con el objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento” (CONAE, 1997, p. 4). Se empleó dicho anteproyecto, a pesar de no estar aprobado y vigente, debido a que constituye el primer esfuerzo normativo encaminado a hacer más eficiente el uso de energía dentro de las viviendas del país a partir del diseño arquitectónico, principalmente de la envoltente. Se trata de una herramienta sencilla con respecto a simuladores térmicos y normas internacionales sin embargo, en caso de ser aceptada en los próximos años representará un gran avance en materia de confort térmico y eficiencia energética para las viviendas del país.

Se sabe que el anteproyecto fue creado para ser empleado en todo el país, que se basa en el periodo de verano (temperatura equivalente) y que se enfoca a disminuir las cargas térmicas de

los equipos de enfriamiento (CONAE, 1997). De acuerdo a lo anterior, el hecho de que existiera cierto interés en la aplicación de esta normatividad en un clima semifrío, en el que no solamente se tienen problemas de ganancias térmicas en verano sino también y en mayor magnitud, de pérdidas durante el invierno; de tal manera que se valorara el desempeño de la normatividad en un sitio con condiciones climáticas distintas a las planteadas en sus objetivos, pero que entra en su campo de aplicación.

El propósito de evaluar la eficiencia energética fue entender y explicar numéricamente el comportamiento térmico de los casos de estudio a partir del análisis de sus envolventes, lo que permitió identificar la procedencia de las cargas térmicas de acuerdo a cada una de sus partes.

Con base en lo anterior y considerando que se trata de dos casos de estudio que fueron monitoreados durante varios meses, se pudo relacionar cómo responden los resultados del anteproyecto de norma 020 a la situación real de dos casos específicos. Lo anterior enriqueció la parte experimental, expuesta en el capítulo 3, y permitió hacer un análisis más detallado de los datos monitoreados; así mismo fue posible cuantificar de alguna manera el beneficio que representaría llevar a cabo las propuestas de diseño planteadas para mejorar la eficiencia energética y los niveles de confort dentro de cada vivienda.

Finalmente, otra de las consideraciones para la aplicación del anteproyecto de NOM-020 fue que su calidad de anteproyecto brinda la posibilidad de que las recomendaciones realizadas se puedan incorporar fácilmente al mismo.

A continuación se describe brevemente la metodología del anteproyecto de NOM-020-ENER, posteriormente se presenta la aplicación del mismo a los casos de estudio en sus condiciones actuales y con algunas modificaciones, las cuales ayudaron a mejorar la eficiencia energética de cada uno de ellos.

4.1.1 Metodología

El cálculo del presupuesto energético del anteproyecto sigue 5 pasos que se muestran a continuación (CONAE, 1997, p. 48) y se describen en función de la aplicación a los casos de estudio de esta tesis, por lo que se omitieron aspectos que no se presentaron en las viviendas seleccionadas:

- 1) *Datos generales.* En el que se ubicó el caso de estudio.
- 2) *Valores para el cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente.* En esta parte se definieron ciertas magnitudes establecidas por el mismo anteproyecto, las cuales se seleccionaron de tablas que contienen datos de cada localidad. Los valores determinados en este paso fueron: la temperatura equivalente promedio (te), el coeficiente de transferencia de calor (K) y el factor de ganancia de calor solar (FG) en función de la orientación de las partes transparentes. Se incluyó también el factor de corrección de sombreado exterior (SE) que es un valor calculado de acuerdo a la ubicación de la localidad y a las características de los vanos de la envolvente.
- 3) *Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente.* Este cálculo se realizó de acuerdo a la composición de cada porción (material, espesor y conductividad térmica de las mismas). Con lo anterior se obtuvo el aislamiento térmico y el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción.
- 4) *Cálculo comparativo de la ganancia de calor.* Considerando la transferencia de calor por conducción y por radiación se determinaron las ganancias de calor del edificio de referencia y del edificio proyectado. El anteproyecto plantea un límite de ganancias de calor para cada vivienda proyectada, en el cual condiciona la relación de los vanos respecto a los macizos y determina los coeficientes de transferencia de calor en lo que denomina *edificio de referencia*.
- 5) *Resumen de cálculo.* Como resultado de los pasos anteriores se determinó el cumplimiento del anteproyecto mediante la comparación del edificio de referencia y el proyectado.

4.1.2 Vivienda A

En esta parte se muestra la aplicación del anteproyecto de NOM-020 a la vivienda A, de la cual se presenta el edificio de referencia, el edificio proyectado (condición actual) y la modificación propuesta para mejorar la eficiencia energética de la vivienda y en consecuencia las condiciones de confort térmico.

Como se mencionó anteriormente, el anteproyecto establece los valores de cálculo de acuerdo a la orientación y a la localidad; permite únicamente cuatro orientaciones, de acuerdo a ello la

vivienda A orienta hacia el sur su fachada principal y al norte la fachada posterior (fig.33). Presenta vanos hacia el norte, sur y oeste.

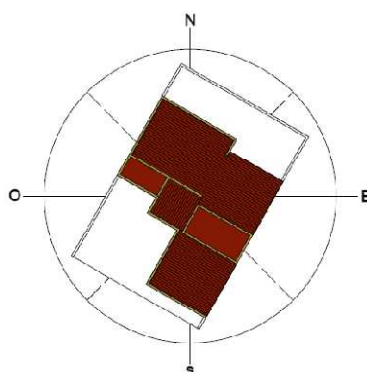


Figura 33. Orientación vivienda A

4.1.2.1 Edificio de referencia A

Para el cálculo de ganancias de calor por conducción del edificio de referencia "A" (tabla 15) se dio un coeficiente global de transferencia de calor (K) según la porción de la envolvente, el cual se determinó de acuerdo a la zona de estudio; posteriormente se delimitó el área de la vivienda ocupada por cada elemento, y el anteproyecto condicionó un porcentaje para las partes transparentes (10% de vanos en los muros y 0% en la cubierta); se dio también la temperatura equivalente y la temperatura interior, ambas establecidas por el anteproyecto según la ciudad analizada. Con los datos anteriores se calculó la ganancia de calor por conducción obteniendo como resultado que la vivienda A idealmente debe tener un máximo de ganancias por conducción de 1105watts.

Tipo y orientación de la porción envolvente	Coeficiente global de transferencia de calor (W/m² K) <i>K</i>	Área del edificio (m²) <i>A</i>	Fracción de la componente <i>F</i>	Temperatura equivalente (°C) <i>te</i>	Temperatura interior (°C) <i>t</i>	Ganancia de calor por conducción (W) <i>K*A*F(te-t)</i>
Techo	1.194	75.03	1	34	22	1074.958
Tragaluz y domo	5.952		0	20	22	0
Superficie inferior	1.194	1.44	1	24	22	3.439
Muro Norte	1.194	68.46	0.9	21	22	-73.568
Ventana Norte	5.319		0.1	21	22	-36.414
Muro Este	1.194	68.52	0.9	23	22	73.627
Ventana Este	5.319		0.1	22	22	0
Muro Sur	1.194	58.80	0.9	23	22	63.191
Ventana Sur	5.319		0.1	22	22	0
Muro Oeste	1.194	67.05	0.9	22	22	0
Ventana Oeste	5.319		0.1	22	22	0
SUBTOTAL						1105.233

Tabla 15. Edificio de referencia "A". Ganancia por conducción (partes opacas y transparentes)

Como se observa en la tabla 15 para los muros con orientación oeste y las ventanas con orientación este, oeste y sur, el valor de la temperatura equivalente es igual a la temperatura interior (22°C) por lo que se puede decir que, para este caso, el anteproyecto no consideró ganancias por conducción a través de las ventanas y de los muros con dichas orientaciones; se infiere que si la temperatura equivalente está planteada en función de la temporada cálida, estas aberturas representarían pérdidas el resto de los meses. En el cálculo se presentaron también valores negativos provenientes de la orientación norte, los cuales numéricamente constituyeron una bonificación.

En la tabla 16, se presentan las ganancias de calor por radiación; nuevamente la restricción planteada por el anteproyecto es con respecto a la dimensión de las partes transparentes. Para el edificio de referencia no se considera sombreado en las aberturas, por lo que el coeficiente de sombreado es igual a 1 y equivale a un cristal claro de 3mm (CONAE, 1997, p. 5). La ganancia de calor (W/m^2) está determinada por el anteproyecto de acuerdo a la posición y orientación de cada porción según la ciudad analizada. Con los datos anteriores se calculó la ganancia de calor por radiación que fue de 3234 watts.

Tipo y orientación de la porción envolvente	Coeficiente de sombreado	Área del edificio (m^2)	Fracción de la componente	Ganancia de calor (W/m^2)	Ganancia de calor por radiación (w) $CS \cdot A \cdot F \cdot FG$
	CS	A	F	FG	
Tragaluz y domo	1	75.03	0	274	0
Ventana Norte	1	68.46	0.1	91	622.993
Ventana Este	1	68.52	0.1	137	938.662
Ventana Sur	1	58.80	0.1	118	693.891
Ventana Oeste	1	67.05	0.1	146	978.914
SUBTOTAL					3234.460

Tabla 16. Edificio de referencia "A". Ganancia por radiación (partes transparentes)

La suma de las ganancias por conducción y radiación del edificio de referencia dio un total de 4339 watts, valor que se tomará como límite del edificio proyectado.

4.1.2.2 Edificio Proyectado A

Para determinar las ganancias de calor por conducción del edificio proyectado (situación actual de la vivienda A) se calculó el valor K de las porciones que conforman la envolvente. En este caso se obtuvieron 3 tipos de cubierta, una superficie inferior, 4 tipos de muro, 3 de ventana y 1

de puerta. En la tabla 17 se resumen los resultados de las porciones con algunas características de las mismas.

Número de la porción	Tipo	Características	Aislamiento térmico total m^2K/W	Coficiente global de transferencia de calor W/m^2K
1	Cubierta 1	Vigueta y bovedilla	0.455	2.198
2	Cubierta 2	Vigueta y bovedilla con plafond	27.925	0.036
3	Cubierta 3	Losa maciza	0.326	3.065
4	Superficie inferior	Vigueta y bovedilla	0.432	2.317
5	Muro A	Tabicón, aire, tabicón	8.069	0.124
6	Muro B	Tabicón	0.428	2.334
7	Muro C	Tabicón, azulejo	0.418	2.394
8	Muro D	Tabique, azulejo	0.497	2.012
9	Ventana 1	Cristal bronce 6mm	0.207	4.835
10	Ventana 2	Acrílico 4mm	0.220	4.540
11	Ventana 3	Vitroblock 10cm	1.640	0.610
12	Puerta	Madera	1.874	0.533

Tabla 17. Coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente. Edificio proyectado "A"

En el análisis de las porciones, con la comparación de una losa maciza con una de vigueta y bovedilla se observó que la primera transfiere 40% más calor por m^2 que la segunda. El aire jugó un papel determinante en el aislamiento térmico de la cubierta 2 en la que existe un falso plafón con una capa de aire promedio de 60cm; así como en el muro A (porción 5) en el que se tiene un muro doble con una capa de aire al centro de 16.5cm. Estas componentes constituyeron los coeficientes de menor transferencia de calor en la vivienda A. Contrario a lo anterior, el cristal y el acrílico fueron los que aportaron mayores ganancias por conducción por m^2 . En la figura 34 se ilustran las porciones 5 y 6 de izquierda a derecha (muros A y B respectivamente).

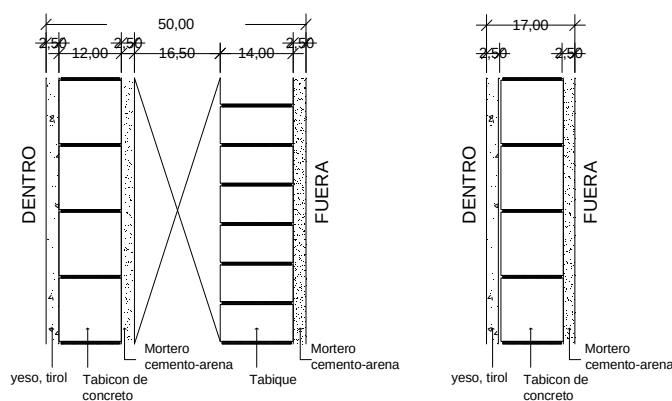


Figura 34. Porciones 5 y 6. Muro A y Muro B

En la figura 35 se señalan algunas de las porciones de la envolvente que se consideró necesario diferenciar tanto en la fachada principal como en la posterior (izquierda y derecha respectivamente); se indica cada una de ellas con el número de porción de la tabla 17. Se señala el tipo de sombreado exterior de las dos ventanas que tienen dispositivos de control solar: sala y acceso, mismos que fueron considerados para determinar las ganancias por radiación de la tabla 19.

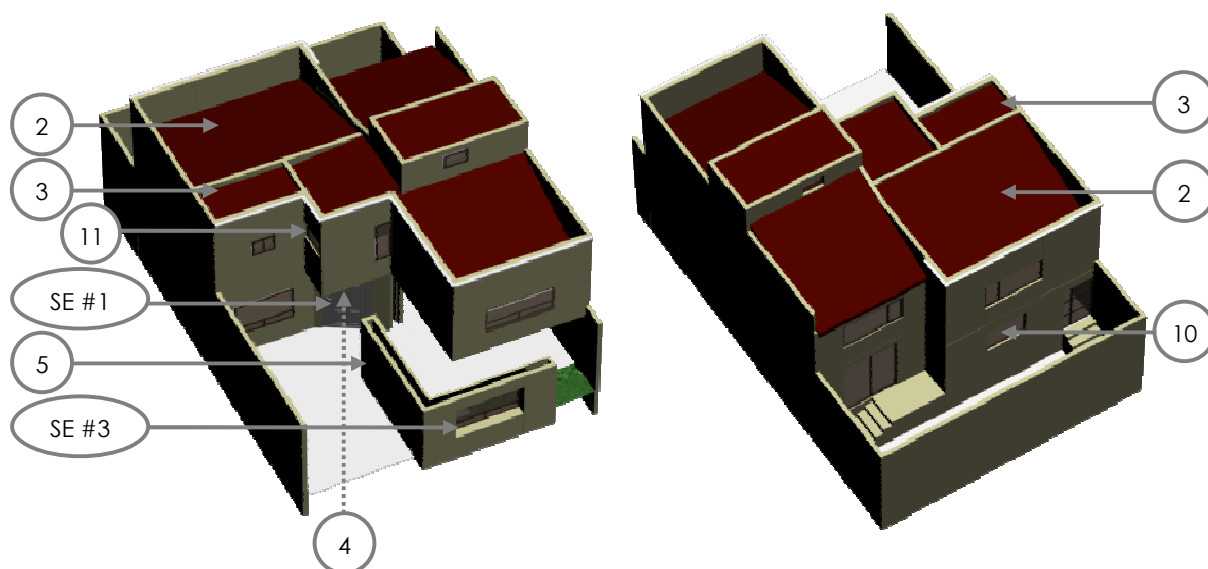


Figura 35. Caracterización volumétrica. Edificio proyectado "A"

Para el cálculo de ganancias por conducción, se utilizaron los coeficientes de transferencia de la tabla 17. El resultado del cálculo fue 1425 watts (tabla 18), es decir 320 watts sobre el edificio de referencia. Las ganancias por radiación fueron de 2034 watts, es decir casi 40% debajo de las ganancias por radiación del edificio de referencia (tabla 19). La suma de ganancias por conducción y radiación dio como total 3460 watts para el edificio proyectado.

Tipo y orientación de la porción envolvente	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (W/m ² °C)		Área del edificio (m ²)	Temperatura equivalente (°C)	Temperatura interior (°C)	Ganancia de calor por conducción (w)
	Número de la porción	Valor calculado (W/m ² °C)				
		K	A	te	ti	K*A*F*(te-ti)
1.1 Cubierta 1	1	2.198	45.71	34	22	1205.631
1.1 Cubierta 2 (recámara ppal)	2	0.036	25.31	34	22	10.875
1.1 Cubierta 3 (losa maciza)	3	3.065	4.00	34	22	147.282
1.6 Superficie inferior (acceso)	4	2.317	1.44	24	22	6.674
4.2 Muro Norte	6	2.334	55.32	21	22	-129.098
4.3 Muro Este	6	2.334	68.52	23	22	159.904
4.4 Muro Sur	6	2.334	21.37	23	22	49.864
4.4 Muro Sur (sala)	5	0.138	10.70	23	22	1.471
4.4 Muro Sur (baño ppal)	8	2.012	7.98	23	22	16.054
4.4 Muro Sur (baño)	7	2.394	8.54	23	22	20.448
4.5 Muro Oeste	6	2.334	54.17	22	22	0
4.5 Muro Oeste (sala)	5	0.138	9.68	22	22	0
5.2 Ventana Norte	9	4.835	11.71	21	22	-56.636
5.2 Ventana Norte (vitral cocina)	10	4.540	1.43	21	22	-6.495
5.4 Ventana Sur	9	4.835	8.96	22	22	0
5.5 Ventana Oeste (vitral acceso)	10	4.540	3.19	22	22	0
5.5 Ventana Oeste (vitroblock)	11	0.610	1.56	22	22	0
5.5 Puerta	12	0.533	1.26	22	22	0
SUBTOTAL						1425.974

Tabla 18. Edificio proyectado "A". Ganancia por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción envolvente	Material	Coeficiente de sombreado*	Área (m2)	Ganancia de calor (FG)	Factor de sombreado exterior		Ganancia de calor por radiación (w)
					Número	Valor SE	
		CS	A	FG			CS*A*FG*SE
5.2 Ventana Norte	cristal bronce	0.71	11.71	91		1	756.85
5.2 Ventana Norte (vitral cocina)	acrílico	0.92	1.43	91		1	119.79
5.4 Ventana Sur	cristal bronce	0.71	6.23	118		1	521.57
5.4 Ventana Sur (sala)	cristal bronce	0.71	2.74	118	3	0.561	128.65
5.5 Ventana Oeste (acceso)	acrílico	0.92	3.19	146	1	0.754	323.35
5.5 Ventana Oeste (vitroblock)	vitroblock	0.81	1.56	146		1	184.49
SUBTOTAL							2034.70

Tabla 19. Edificio proyectado "A". Ganancia por radiación (partes transparentes)

Recordando que el edificio de referencia permite 4339.69 watts y sabiendo que el edificio proyectado obtuvo 3460.67 watts, la vivienda A cumple con el anteproyecto de NOM-020-ENER con 20.26%, pues se encuentra 879.7 watts por debajo del total del edificio de referencia.

4.1.2.3 Propuesta de modificación

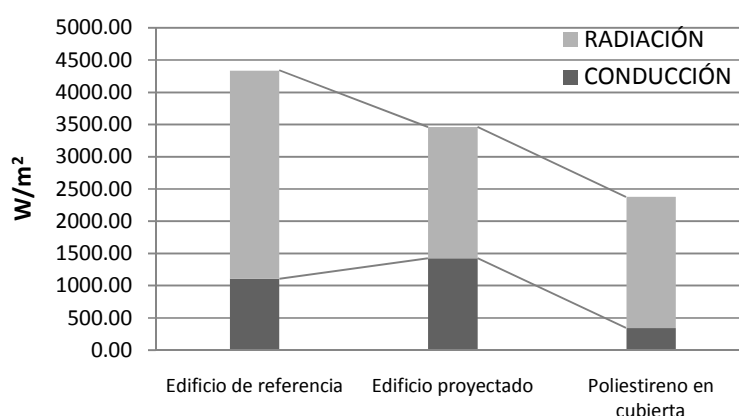
De acuerdo al análisis experimental expuesto en el capítulo anterior, donde la vivienda A no está siempre en confort térmico, y a la aplicación del anteproyecto de norma antes descrito, se planteó y evaluó una propuesta a la vivienda A con el objeto de incrementar su eficiencia energética y en consecuencia los niveles de confort térmico.

Como modificación se determinó abordar las ganancias de calor por conducción pues son las que exceden el límite planteado por el edificio de referencia. De acuerdo a ello se propuso aislante térmico en la cubierta y se obtuvo como resultado que con una capa de poliestireno de 5cm se disminuyó notablemente la ganancia de calor, pues de 1425 W se redujo a 342 W (ver tabla 20). Con la modificación anterior, la vivienda A dio como resultado de eficiencia energética 45.23%, es decir tuvo un beneficio adicional del 25%.

	GANANCIA DE CALOR			CUMPLIMIENTO	EFICIENCIA
	CONDUCCIÓN	RADIACIÓN	TOTAL		
Edificio de referencia	1105.23	3234.46	4339.69	-	0%
Situación actual	1425.97	2034.70	3460.68	SI	20.26%
Poliestireno en cubierta	342.34	2034.70	2377.04	SI	45.23%

Tabla 20. Resumen de cálculo con modificación propuesta. Vivienda A

En la gráfica 44 se representan los resultados de la aplicación del anteproyecto, diferenciando las ganancias térmicas por radiación y conducción, se observa que el edificio proyectado tiene mayores ganancias por conducción que el de referencia, sin embargo las ganancias por radiación son menores a las permitidas por el anteproyecto. En la suma de ambas el edificio proyectado queda debajo del límite permitido por el edificio de referencia. Del lado derecho de la gráfica se presenta la propuesta de mejora, en la que las ganancias por conducción disminuyeron 69%.



Gráfica 44. Ganancias de calor por conducción y radiación. Vivienda A

4.1.3 Vivienda B

La dinámica para presentar los resultados de la vivienda B será la utilizada con la vivienda A. En la fig. 36 se muestra la orientación, que de acuerdo a los parámetros de la norma es hacia el este en la fachada principal y hacia el oeste en la posterior, teniendo vanos hacia el este, oeste y sur.

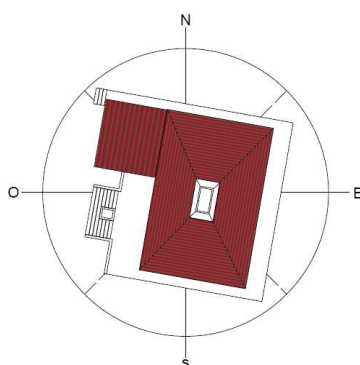


Figura 36. Orientación vivienda B

4.1.3.1 Edificio de referencia B

El edificio de referencia de la vivienda B permite ganancias por conducción hasta de 2323W y por radiación de 2872W (tabla 21 y 22), lo que da un total de 5195W como referente para el edificio proyectado. Al igual que en la vivienda A, la orientación norte representó una bonificación, los muros hacia el oeste junto con los vanos este y oeste, constituyeron valores nulos tanto en el edificio de referencia como en el proyectado.

Tipo y orientación de la porción envolvente	Coficiente global de transferencia de calor (W/m² K) <i>K</i>	Área del edificio (m²) <i>A</i>	Fracción de la componente <i>F</i>	Temperatura equivalente (°C) <i>te</i>	Temperatura interior (°C) <i>t</i>	Ganancia de calor por conducción (W) <i>K*A*F*(te-t)</i>
Techo	1.194	157.39	1	34	22	2255.021
Tragaluz y domo	5.952		0	20	22	0
Superficie inferior	1.194	13.92	1	24	22	33.233
Muro Norte	1.194	52.93	0.9	21	22	-56.882
Ventana Norte	5.319		0.1	21	22	-28.155
Muro Este	1.194	59.55	0.9	23	22	63.994
Ventana Este	5.319		0.1	22	22	0
Muro Sur	1.194	52.15	0.9	23	22	56.045
Ventana Sur	5.319		0.1	22	22	0
Muro Oeste	1.194	65.69	0.9	22	22	0
Ventana Oeste	5.319		0.1	22	22	0
SUBTOTAL						2323.256

Tabla 21. Edificio de referencia "B". Ganancia por conducción (partes opacas y transparentes)

Tipo y orientación de la porción envolvente	Coefficiente de sombreado CS	Área del edificio (m^2) A	Fracción de la componente F	Ganancia de calor (w/m^2) FG	Ganancia de calor por radiación (w) $CS \cdot A \cdot F \cdot FG$
Tragaluz y domo	1	157.39	0	274	0
Ventana Norte	1	52.93	0.1	91	481.691
Ventana Este	1	59.55	0.1	137	815.860
Ventana Sur	1	52.15	0.1	118	615.418
Ventana Oeste	1	65.69	0.1	146	959.115
SUBTOTAL					2872.084

Tabla 22. Edificio de referencia "B". Ganancia por radiación (partes transparentes)

4.1.3.2 Edificio proyectado B

Para el caso de la vivienda B se obtuvieron 11 porciones distintas, dentro de las cuales hay 2 tipos de cubierta, una superficie inferior, 6 tipos de muro (4 de tabique con variación en los acabados y 2 de celosía), 1 tipo de ventana y una puerta. En la tabla 23 se resumen las porciones con los resultados de los cálculos de los coeficientes de transferencia de calor, las características principales y el número de porción para identificarlas.

Número de la porción	Tipo	Características	Aislamiento térmico total m^2K/W	Coefficiente global de transferencia de calor W/m^2K
1	Cubierta 1	Losa maciza	0.363	2.755
2	Cubierta 2	Losa aligerada	0.442	2.263
3	Superficie inferior	Losa aligerada	0.410	2.437
4	Muro A	Tabique, yeso	0.500	2.000
5	Muro B	Tabique, tirol	0.508	1.969
6	Muro C	Tabique, azulejo	0.473	2.113
7	Muro D	Tabique, aislante	0.612	1.635
8	Muro E	Celosía con recubrimiento	0.380	2.629
9	Muro F	Celosía	0.357	2.804
10	Ventana 1	Cristal claro 4mm	0.205	4.886
11	Puerta	Madera	1.874	0.533

Tabla 23. Coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente.
Edificio proyectado "B"

Al analizar las porciones de la envolvente se observa cierta diferencia entre una losa maciza y una losa aligerada, así como la disminución de ganancias de calor a través de un muro con aislante térmico (comparación de porciones 4 y 7).

Al igual que en la vivienda A las porciones con mayor ganancia por m^2 fueron las ventanas, sin embargo hay que recordar que la norma no considera diferencia entre la temperatura interior y exterior para estas porciones por lo que estos coeficientes no participan en la suma de ganancias por conducción debido a que aparentemente no existe transferencia de calor, con excepción de las ventanas con orientación norte las cuales presentan valores negativos por lo que se estaría hablando de pérdidas.

En la figura 37 se identifican las porciones más específicas de la envolvente de la vivienda B, del lado izquierdo la fachada principal y del lado derecho la posterior. Se indica también el tipo de sombreado exterior de las ventanas que cuentan con algún dispositivo de control solar; como se aprecia la mayoría cuentan con sombreado exterior (SE) debido al volado perimetral de las cubiertas.

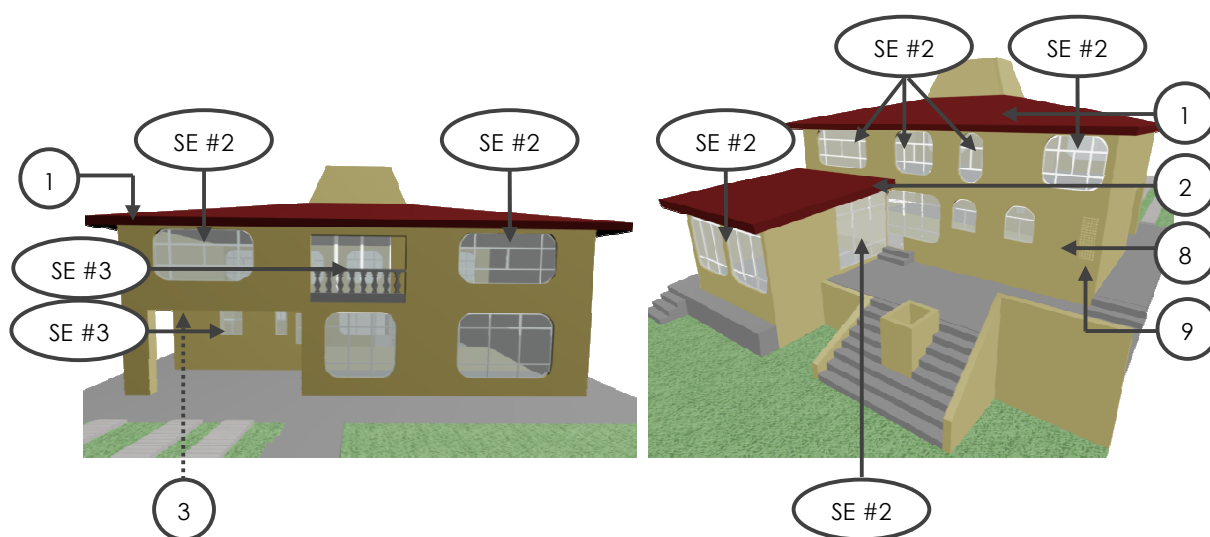


Figura 37. Caracterización volumétrica. Edificio proyectado "B"

Para el cálculo de las ganancias de calor por conducción del edificio proyectado se presenta la tabla 24 en la que se observa el fuerte impacto que provocó la cubierta con respecto al resto de los elementos. Como se ha mencionado, la orientación norte significó una bonificación, sin embargo se aprecia que en un mismo muro (porciones 4 y 7) el tener un aislante térmico en una pared con orientación norte, aparentemente representó una desventaja en la suma de ganancias debido a que disminuye las pérdidas. La suma de ganancias por conducción fue de 5145W.

Tipo y orientación de la porción envolvente	Coeficiente Global de Transferencia de Calor (W/m ² °C)		Área del edificio (m ²)	Temperatura equivalente (°C)	Temperatura interior (°C)	Ganancia de calor por conducción (W)
	Número de la porción	Valor calculado (W/m ² °C)				
		K	A	te	ti	K*A*F(te-ti)
1.1 Cubierta 1 (losa maciza)	1	2.755	125.01	34	22	4132.208
1.1 Cubierta 2 (losa aligerada)	2	2.263	32.38	34	22	879.335
1.6 Superficie inferior (acceso)	3	2.437	13.92	24	22	67.832
4.2 Muro Norte	4	2.000	43.47	21	22	-86.963
4.2 Muro Norte (recámara 1)	7	1.635	9.46	21	22	-15.463
4.3 Muro Este (yeso)	4	2.000	10.45	23	22	20.908
4.3 Muro Este (tirol)	5	1.969	22.60	23	22	44.491
4.3 Muro Este (azulejo)	6	2.113	6.73	23	22	14.221
4.4 Muro Sur (yeso)	4	2.000	30.71	23	22	61.432
4.4 Muro Sur (tirol)	5	1.969	13.30	23	22	26.183
5.4 Puerta	11	0.533	1.80	23	22	0.960
4.5 Muro Oeste (celosía)	9	2.804	0.60	22	22	0
4.5 Muro Oeste (celosía c/aplanado)	8	2.629	3.07	22	22	0
4.5 Muro Oeste (azulejo)	6	2.113	1.26	22	22	0
4.5 Muro Oeste (tirol)	5	1.969	6.38	22	22	0
4.5 Muro Oeste (yeso)	4	2.000	29.97	22	22	0
5.3 Ventana Este	10	4.886	19.77	22	22	0
5.4 Ventana Sur	10	4.886	6.34	22	22	0
5.5 Ventana Oeste	10	4.886	24.41	22	22	0
SUBTOTAL						5145.145

Tabla 24. Edificio proyectado "B". Ganancia por conducción (partes opacas y transparentes)

En el cálculo de ganancias por radiación se obtuvieron 5919W. Gran parte de los vanos cuentan con algún dispositivo de control solar debido a que la vivienda B tiene un volado perimetral, sin embargo los valores de sombreado proporcionados por éste no llegan al 10% como se observa en la columna SE de la tabla 25; existen además de los volados extendidos ventanas remetidas con factores de sombreado exterior mayores.

Tipo y orientación de la porción envolvente	Material	Coeficiente de sombreado*	Área (m ²)	Ganancia de calor (FG)	Factor de sombreado exterior		Ganancia de calor por radiación (W)
					Número	Valor	
		CS	A	FG		SE	CS*A*FG*SE
5.3 Ventana Este (R ppal y R1)	cristal claro	0.97	6.53	137	2	0.921	798.73
5.3 Ventana Este (terrace)	cristal claro	0.97	4.09	137	3	0.292	158.86
5.3 Ventana Este (baño)	vidrio goteado	0.97	1.57	137	2	0	0
5.3 Ventana Este	cristal claro	0.97	7.58	137		1	1007.74
5.4 Ventana Sur	cristal claro	0.97	6.34	118	2	0.924	670.93
5.5 Ventana Oeste (R ppal, R2, TV)	cristal claro	0.97	8.45	146	2	0.924	1105.32
5.5 Ventana Oeste (baño)	vidrio goteado	0.97	1.20	146	2	0.914	155.36
5.5 Ventana Oeste (sala 2)	cristal claro	0.97	8.45	146	2	0.943	1128.57
5.5 Ventana Oeste	cristal claro	0.97	6.31	146		1	893.79
5.5 Celosía Oeste	celosía	1	0.60	146	3	0	0
SUBTOTAL							5919.29

Tabla 25. Edificio proyectado "B". Ganancia por radiación (partes transparentes)

La suma de ganancias por conducción y radiación dio un total de 11064W, es decir más del doble permitido por la normatividad, lo que da un porcentaje de -112.97%. De acuerdo a lo anterior, la vivienda B no cumple con el anteproyecto de NOM-020.

4.1.3.3 Modificaciones propuestas

Para mejorar el comportamiento térmico de la vivienda B fue necesario realizar varias propuestas debido a que por sí mismas ninguna satisfizo los requerimientos del anteproyecto de norma en su totalidad. La suma de ganancias de calor del edificio proyectado de la vivienda B fue ligeramente mayor por conducción que por radiación si se parte del límite de referencia permitido, sin embargo se tienen grandes problemas en los dos aspectos.

Como primera solución se abordó la cubierta que según el anteproyecto de NOM es el elemento que aporta mayores ganancias por conducción y que, como se vio en el capítulo anterior con las lecturas superficiales, sus grandes oscilaciones térmicas afectan notablemente el comportamiento térmico de la planta alta. De acuerdo a ello se propuso una capa de 5cm de poliestireno, la cual representó una notable disminución de ganancias (se redujo de 5145W a 1014W) y acercó la vivienda a -33.47%.

Posteriormente se hicieron algunas modificaciones a las ventanas. La primera de ellas fue la propuesta de doble acristalamiento que, como es bien sabido, representa grandes ventajas para un clima semifrío. Sin embargo de acuerdo a los cálculos anteriores, la transferencia de calor por conducción a través de las ventanas no participa en la suma de ganancias, por lo que el beneficio que se encontró en esta propuesta fue en virtud del sombreado que produce un doble acristalamiento, cuyo coeficiente de sombreado (CS) es de 0.81 (VITRO, 2002), y no por la significativa disminución del coeficiente global de transferencia de calor (de 4.88 a 1.44W/m² K). Esta modificación consiguió -94.67% de eficiencia energética, es decir se mejoró un 18.3%. La solución planteada se propuso para los vanos de la vivienda con excepción de los de los baños.

Otra de las modificaciones propuestas en las ventanas fue el uso de dispositivos de control solar ya que, como se vio en el edificio proyectado, los volados únicamente alcanzaron factores de sombreado exterior de 0.9, por lo que se propuso la colocación de partesoles en la orientación poniente. Como se vio en el análisis climático del capítulo 2, en la ciudad de Guadalupe se requiere protección solar durante las tardes de los meses de mayo y junio, por lo que se buscó una solución que permitiera el mayor sombreado durante estos meses y el mayor asoleamiento en el invierno tratando así mismo, de conservar la vista que se tiene hacia el jardín posterior.

Se determinó colocar 4 partesoles en la sala 2 de la planta baja. Con el trazo de geometría solar se optó por rotar los dispositivos 30° hacia el sur para conservar la vista del jardín y permitir mayor incidencia durante el invierno. Se probaron dispositivos de 0.6m y 0.9m de longitud siendo más eficientes en el sombreado los de 0.9m. En la figura 38 se presenta de izquierda a derecha: la situación actual de incidencia solar de algunas horas de la tarde de los meses de mayo, junio, julio y diciembre; el funcionamiento de los partesoles de 0.6m y finalmente el de 0.9m. En la tabla 26 se presentan los mismos datos pero de forma numérica, se señala el porcentaje de bloqueo para cada dispositivo, considerando como 100% la situación actual.

mes	hora	actual	60cm		90cm	
		área soleada al interior (m²)				
		m²	m²	%	m²	%
junio	14:00	1.3	0.88	32%	0.68	48%
	15:00	4.26	2.83	34%	2.17	49%
	16:00	8.1	5.11	37%	3.67	55%
	17:00	14.59	8.5	42%	5.67	61%
mayo, julio	14:00	1.29	1	22%	0.84	35%
	15:00	4.45	3.3	26%	2.73	39%
	16:00	8.74	5.97	32%	4.68	46%
diciembre	17:00	16.21	10.5	35%	7.74	52%
	15:00	5.12	3.23	37%	2.63	49%
	16:00	7.71	6.02	22%	5.47	29%
	17:00	10.08	8.73	13%	8.35	17%

Tabla 26. Partesoles sala 2

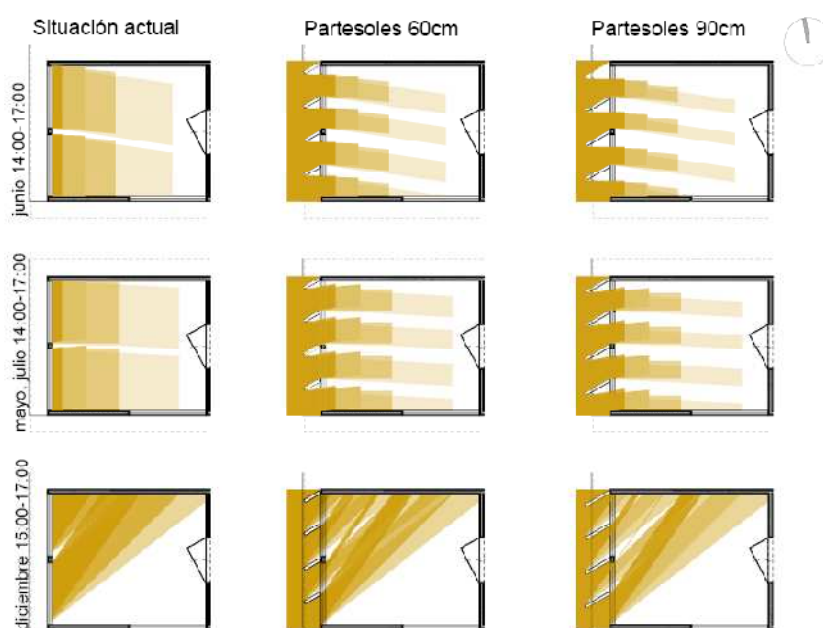


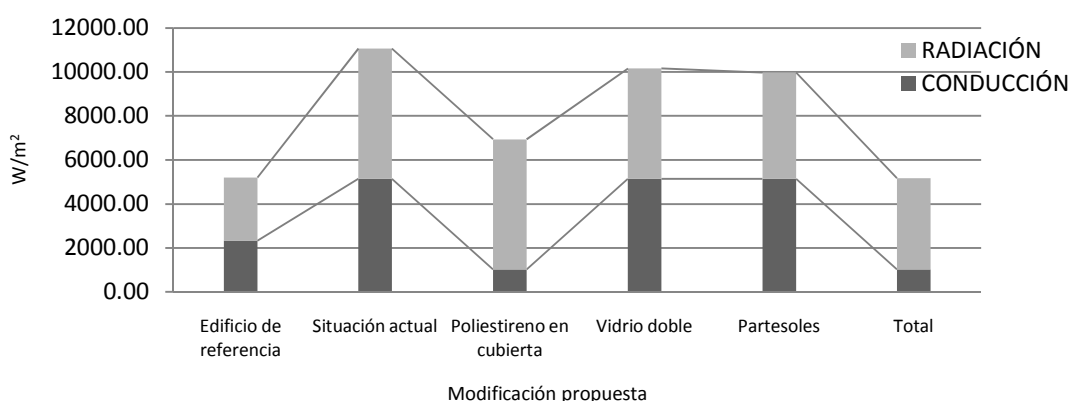
Figura 38. Partesoles sala 2

Así mismo, en la planta alta se propusieron partesoles con el mismo criterio que los de la planta baja (giro 30°), pero con materiales más ligeros y de dimensiones más pequeñas por el espacio en que se ubican. Junto con los volados ya existentes, los dispositivos de control solar propuestos alcanzaron un sombreado exterior de 0.43 en la sala 2 y 0.52 en la planta alta. Con la aplicación de geometría solar se obtuvo un beneficio de eficiencia energética de 27%, acercando la vivienda B a -86%.

Como se mencionó, estas propuestas aisladas no cumplen con la normatividad por lo que se utilizaron en conjunto para un mejor resultado. En la tabla 27 se presentan las modificaciones propuestas a la vivienda B y en la gráfica 45 se muestra el impacto de cada una de ellas y el resultado en conjunto. Con las modificaciones propuestas, la vivienda B cumplió la norma con un 4.45% de eficiencia energética.

	GANANCIA DE CALOR			CUMPLIMIENTO	EFICIENCIA
	CONDUCCIÓN	RADIACIÓN	TOTAL		
Edificio de referencia	2323.26	2872.08	5195.34	-	0%
Situación actual	5145.15	5919.29	11064.44	NO	-112.97%
Poliestireno en cubierta	1014.94	5919.29	6934.23	NO	-33.47%
Vidrio doble	5145.15	4968.54	10113.69	NO	-94.67%
Partesoles 90cm	5145.15	4829.45	9974.59	NO	-86.08%
Total	1014.94	4106.84	5121.78	SI	4.45%

Tabla 27. Resumen de cálculo con modificación propuesta. Vivienda A



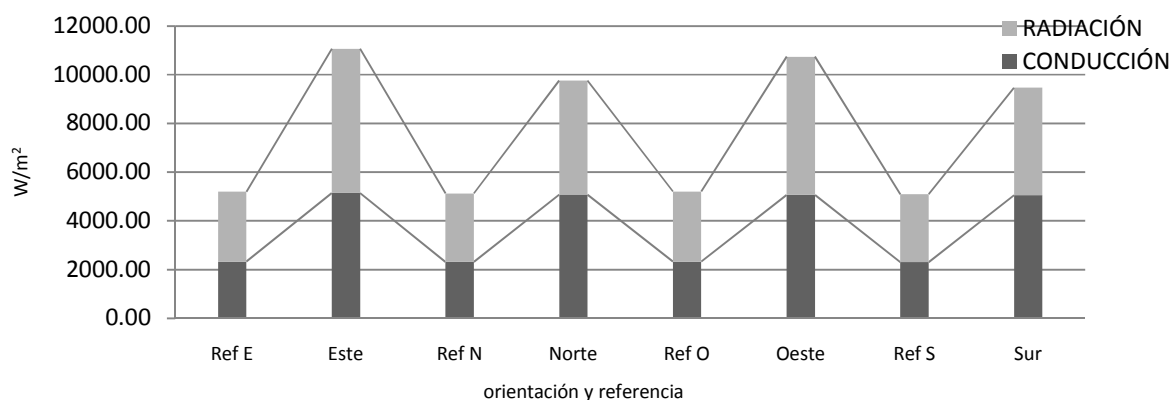
Gráfica 45 Ganancias de calor por conducción y radiación. Vivienda B

Se realizó un ejercicio de comparación para conocer qué importancia tiene la orientación para el anteproyecto de NOM, por lo que se supuso una rotación de la vivienda B, en sentido opuesto a

las manecillas del reloj, en las cuatro orientaciones principales de acuerdo a su fachada principal. Se obtuvo que la orientación actual es la menos eficiente y la orientación sur la solución más eficiente existiendo entre ellas una diferencia de casi 30%, sin embargo en cualquiera de las orientaciones supuestas la vivienda B no cumple con la normatividad (tabla 28 y gráfica 46).

Orientación	GANANCIA DE CALOR			CUMPLIMIENTO	EFICIENCIA
	CONDUCCIÓN	RADIACIÓN	TOTAL		
Ref E	referencia	2323.26	2872.08	5195.34	-
Este	Situación actual	5145.15	5919.29	11064.44	NO
Ref N	Edificio de referencia	2319.22	2804.28	5123.50	-
Norte	giro -90°	5077.15	4682.02	9759.17	NO
Ref O	Edificio de referencia	2331.94	2868.52	5200.47	-
Oeste	giro -180°	5062.23	5676.83	10739.06	NO
Ref S	Edificio de referencia	2303.59	2787.00	5090.59	-
Sur	giro -270°	5056.76	4404.96	9461.73	NO

Tabla 28. Comparación de orientación. Edificio proyectado "B"



Gráfica 46. Comparación de orientación. Edificio proyectado "B"

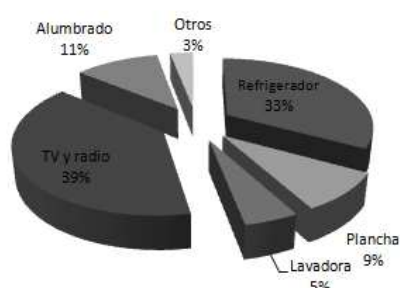
4.2 Auditoría Energética

Uno de los objetivos de esta tesis fue analizar el consumo energético de los casos de estudio mediante una auditoría energética con el fin fue conocer el impacto por climatización artificial dentro de las mismas. Dicho objetivo se planteó bajo la consideración de que en México, la energía eléctrica que se utiliza en la vivienda representa una parte significativa del consumo nacional anual, ya que de acuerdo con el Balance Nacional de Energía, en 2006 el sector

residencial, comercial y de servicio público dispuso del 19% del consumo final total (SENER, 2006) siendo de estos tres, el residencial el de mayor demanda (83.5%).

Cerca de la tercera parte de la demanda energética mencionada corresponde a consumo eléctrico, precedido por el consumo de gas licuado y de leña (SENER, 2006). No obstante en las ciudades la electricidad ocupa el segundo lugar en importancia (CONAE, 2008). De acuerdo a lo anterior y a la demanda energética de los usuarios de las viviendas seleccionadas, se determinó hacer una evaluación específicamente del consumo eléctrico.

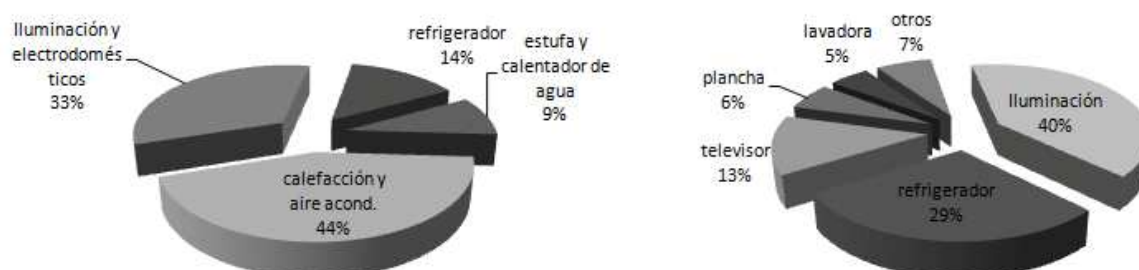
En las auditorías energéticas realizadas, se consideraron como referencia las estimaciones de consumo eléctrico emitidas por el departamento de uso eficiente de energía de la Comisión Federal de Electricidad, CFE (2008). De acuerdo a estos datos, el mayor consumo es por el radio y la televisión seguidos por el refrigerador, que individualmente ocupa el 33%, y la iluminación (gráfica 47). Cabe mencionar que estos son datos que corresponden a la demanda promedio de la zona del Bajío, sin embargo hay lugares en los que durante los periodos de condiciones ambientales más severas, gran parte del consumo energético se utiliza en la búsqueda de confort térmico y lumínico.



Gráfica 47. Consumo de energía eléctrica en la vivienda. CFE
Fuente: Volante "Energía eléctrica en mi hogar... cómo se consume?". CFE

Otra de las referencias que se consideraron para las auditorías energéticas fueron las estadísticas emitidas por la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) en cuyas gráficas presenta que en los hogares en los que existe climatización artificial, en promedio, ésta consume mayor cantidad de energía que el resto del equipo (CONAE, 2008). En la gráfica 48 se muestra en porcentaje el consumo promedio de energía en la vivienda (electricidad y gas): del lado izquierdo se presenta una vivienda con climatización y del lado derecho una vivienda sin

climatización. En la primera se observa que el 44% del consumo es para acondicionamiento térmico y en la segunda nuevamente destaca el alto consumo del refrigerador.



Gráfica 48. Consumo de energía en la vivienda. CONAE
Fuente: http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/espacio_aparatos

4.2.1 Metodología

La metodología utilizada para la auditoría energética consistió en la recopilación de los recibos eléctricos emitidos por la CFE, con los cuales se analizó el consumo eléctrico durante un año para la vivienda A y un año y medio para la vivienda B. El análisis de los consumos permitió generar una relación de costos, promedios de consumo, consumo anual, consumo por persona, consumo por m², etc.

Posteriormente se realizó un inventario de los electrodomésticos y luminarias de cada vivienda, en el cual se incluyó:

a) *la potencia del equipo (watts)*, señalada en cada aparato y luminaria. Cuando ésta no se indicaba se midió con un multímetro o pinza amperimétrica marca Meterman, modelo AC40A. Con el resultado medido en ohms (Ω), se aplicó la siguiente fórmula $P=(127v)^2/\Omega$, y se obtuvo la potencia (watts).

b) *el tiempo de uso del equipo (horas)*, según una encuesta aplicada a los usuarios de acuerdo a sus costumbres de uso.

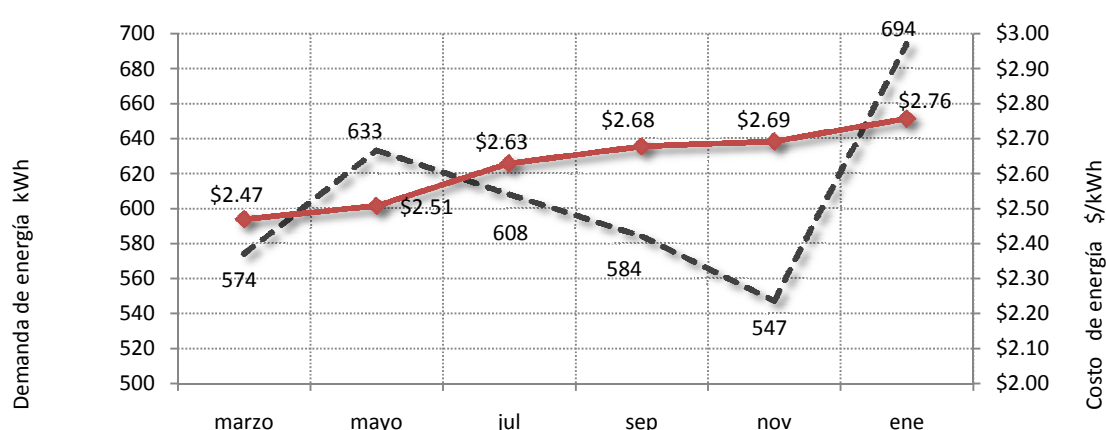
Con los datos anteriores se obtuvo el consumo en kilowatts hora (kWh) al multiplicar la potencia (convertida a kW) y el tiempo de uso en horas. Con los resultados se determinaron porcentajes y se generaron gráficas de consumo por equipo, mismos que para efectos prácticos se agruparon en diversos rubros de acuerdo a su género y demanda.

El consumo final estimado con la auditoría energética, se cotejó con los consumos reales indicados en los recibos bimestrales de la CFE y se obtuvo la diferencia porcentual entre el consumo real y el consumo estimado.

4.2.2 Vivienda A

En la auditoría energética de la vivienda A se analizó el consumo eléctrico durante un año, abarcando el periodo del experimento y cinco meses anteriores. El consumo anual de la vivienda A fue 3640 kWh; con la auditoría energética se estimó un consumo anual de 3622 kWh. El consumo real promedio de un bimestre fue 607 kWh, el consumo estimado 604 kWh. Al cotejar el consumo promedio real con el estimado (bimestral y anual) se tiene una diferencia porcentual menor a 1%, lo que permitió verificar que la correcta aplicación de la metodología de auditoría energética se asemeja en gran medida al comportamiento real.

Al hacer una comparación del consumo de energía (kWh) y el costo de ésta (en pesos) a lo largo del año, se observa en la gráfica 49 que a pesar de que la demanda de energía aumentó y disminuyó de un bimestre a otro (línea punteada, escala izquierda), el precio del kWh siempre fue en aumento (línea continua). El costo promedio del kWh fue de \$2.59, la vivienda A mantuvo la tarifa DAC (Domésticas de alto consumo) ya que en ella mensualmente se consumen alrededor de 300 kWh, siendo 250 kWh el límite para una tarifa más baja dentro de la región de estudio (CFE, 2008).



Gráfica 49. Consumo eléctrico vivienda A. 2007 a 2008
Fuente: Recibos bimestrales CFE

De acuerdo con el consumo anual, se obtuvieron varios indicadores, entre los más importantes se tiene para esta vivienda un consumo de 728 kWh/año/persona y de 21 kWh/año/m². No se encontró una referencia de consumo en vivienda, sin embargo se sabe que en edificios de oficinas el consumo mínimo es de 29 kWh/m²/año (CIE, 2007).

Respecto a la distribución del consumo eléctrico se observó que el refrigerador ocupa más de la tercera parte del consumo general de la vivienda al igual que en los datos de referencia, en los que el refrigerador representa un porcentaje considerable; después del refrigerador se encuentra el consumo para iluminación y para equipo de cómputo. En la tabla 29 se presentan los resultados de la auditoría energética en la que los equipos se agrupan en rubros de consumo, del lado izquierdo se enlista el consumo en kWh y del lado derecho se grafica en porcentaje.

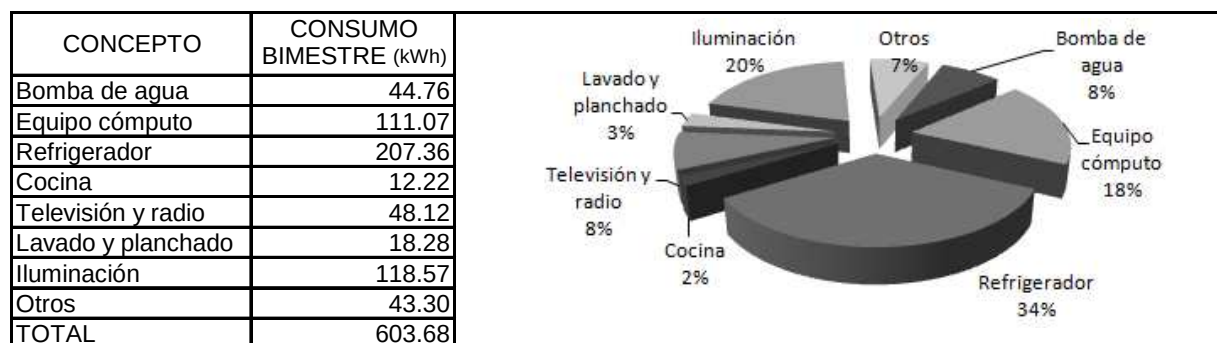


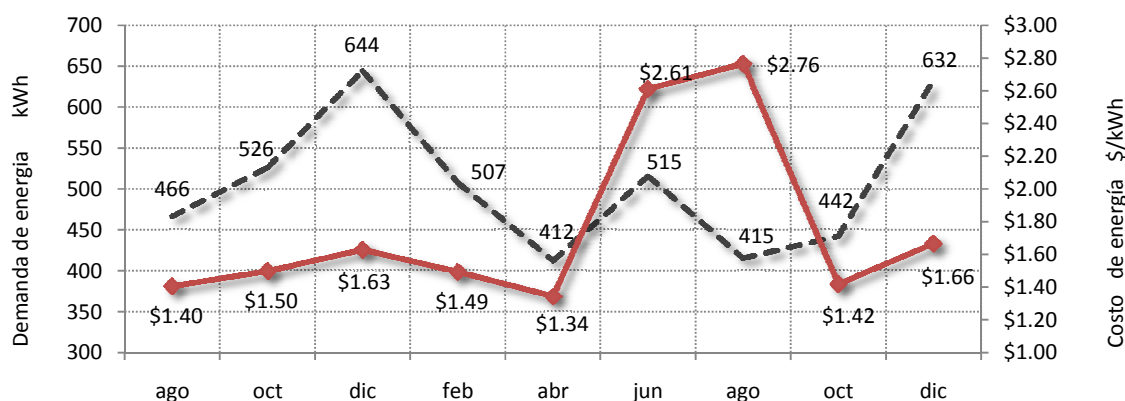
Tabla 29. Resumen de auditoría energética vivienda A

Inicialmente se determinó conveniente realizar una auditoría energética para verano y otra para invierno; sin embargo en la vivienda A la demanda, según la opinión de los usuarios es muy similar en ambos periodos debido a que no se utilizan equipos de climatización, por lo que se realizó únicamente una auditoría anual.

4.2.3 Vivienda B

Para la vivienda B se analizó un periodo de un año y medio según la disponibilidad de recibos de pago de la CFE. En la gráfica 50 se puede observar con línea punteada, en los bimestres de agosto a diciembre, cómo se repite el patrón de consumo de un año a otro.

En el año 2007, el consumo anual de la vivienda B fue de 2923 kWh; con la auditoría energética se estimó un consumo anual de 2861 kWh lo que representa una diferencia porcentual de poco más del 2%. El costo promedio por kWh fue de \$1.88 cotizando la tarifa 1, con excepción de los bimestres de junio y agosto que obtuvieron la tarifa DAC y en los que se elevó considerablemente el costo de la energía.



Gráfica 50. Consumo eléctrico vivienda B. Agosto 2006 a enero 2008
Fuente: Recibos bimestrales CFE

De acuerdo a los consumos reales se determinaron algunos indicadores, entre los más importantes se encuentra que el consumo anual por metro cuadrado fue 14 kWh y 731 kWh/año por persona, de estos últimos 69 kWh fueron para iluminación y 93 kWh para climatización (por persona). Es decir que a pesar de que la vivienda B sólo se climatiza parcialmente y durante algunos meses, el consumo anual de este rubro es representativo, por lo que para la vivienda B se presentan dos auditorías energéticas: una general (tabla 30) y una del periodo invernal (tabla 31); la diferencia entre ellas fue principalmente por equipo de climatización y por la variación de tiempo de uso de algunos equipos.

El consumo bimestral estimado para el periodo típico de la vivienda B fue 397 kWh. En los resultados de la auditoría energética se observa que el mayor consumidor fue la secadora de ropa, que al agruparlo con el lavado y planchado suma el 33% en el periodo normal. Cabe mencionar, a pesar de no ser objeto de esta investigación, que el refrigerador y las luminarias utilizados en la vivienda B son ahorradores razón por lo cual no impactan gravemente en el consumo total.

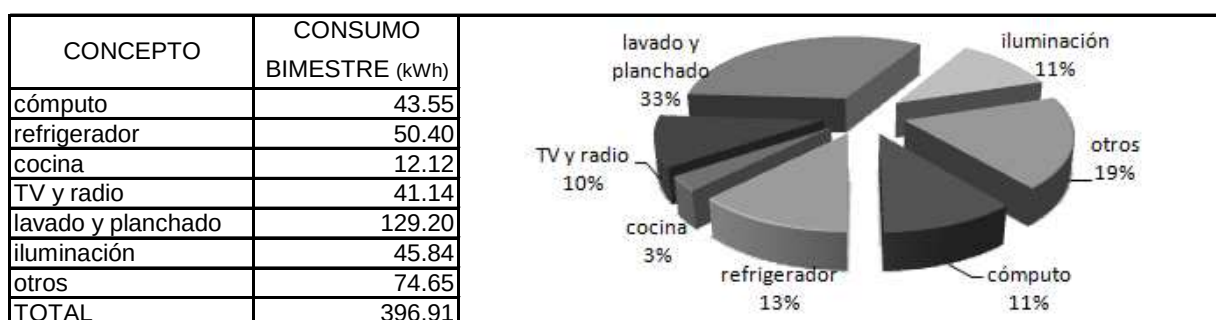


Tabla 30. Resumen de auditoría energética vivienda B. Periodo marzo a octubre

El consumo bimestral estimado para el periodo de noviembre a enero resultó de 659 kWh. En la gráfica de la tabla 31, se observa que el consumo del equipo de climatización se asemeja a la gráfica de referencia de la CONAE, pues representa el 36% del consumo total, seguido por el lavado y planchado que obtuvo el 23%.

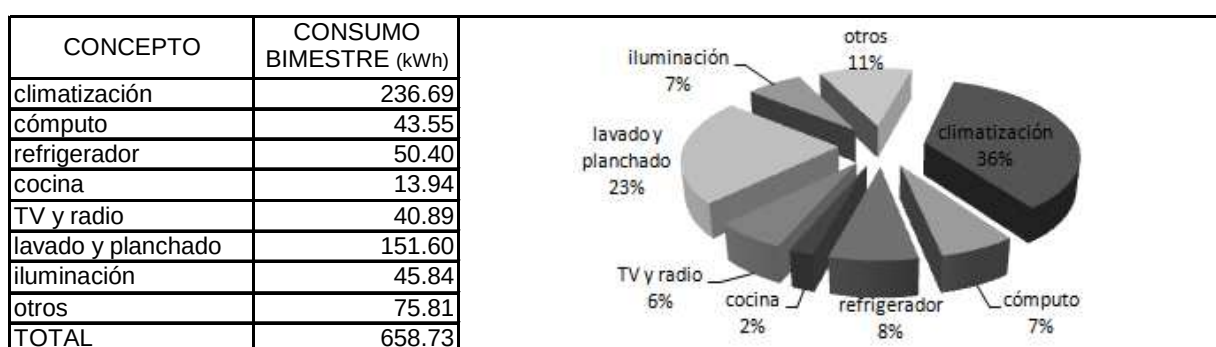


Tabla 31. Resumen de auditoría energética vivienda B. Periodo noviembre a febrero

Para determinar el tiempo de uso del equipo de climatización, a diferencia del resto de los equipos, se llevó un registro de las horas en que estos se utilizaban y se midieron las potencias con que operaban. Se generó una tabla de control de las horas en que se utilizó algún equipo de climatización, en ella se incluyó el aparato, que en este caso consistieron en calentadores y cobija eléctricos, con la potencia respectiva en que se utilizaba cada uno de ellos. Para cada día en que se utilizó algún equipo de apoyo térmico, se registraron las horas en que dichos aparatos se usaban. En la tabla 32 se presenta un ejemplo de registro de climatización del mes de noviembre.

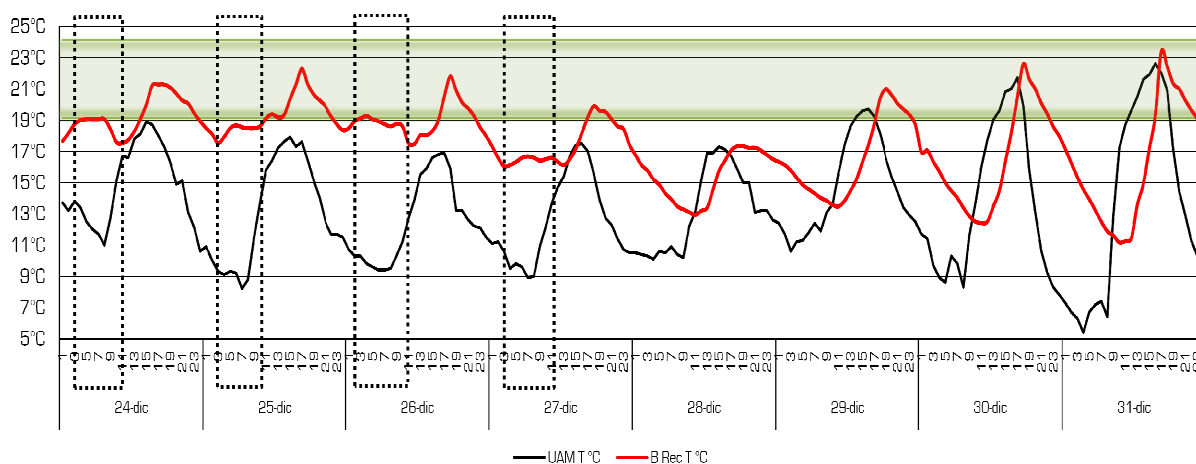
FECHA	Cobija Eléctrica		Calentador 1		Calentador 2		CONSUMO			CONSUMO
	Potencia	Tiempo	Potencia	Tiempo	Potencia	Tiempo	CE	C1	C2	TOTAL
20-dic			795	12			0	9540	0	9540
21-dic					779	8	0	0	6232	6232
22-dic					779	8	0	0	6232	6232
23-dic					779	8.5	0	0	6621.5	6621.5
24-dic					779	8	0	0	6232	6232
25-dic			795	7	779	8	0	5565	6232	11797
26-dic			795	8	779	9	0	6360	7011	13371
27-dic					779	8	0	0	6232	6232
28-dic	96.5	9	795	8			868.5	6360	0	7228.5
29-dic	96.5	7	795	8			675.5	6360	0	7035.5
30-dic	96.5	9	795	9.25			868.5	7353.8	0	8222.25
31-dic	96	8	795	9.5			768	7552.5	0	8320.5
SUBTOTAL HORAS		33		61.75		57.5				152.25
SUBTOTAL W/h							3180.5	49091.3	44792.5	97064.25
SUBTOTAL KW/h							3.1805	49.0913	44.7925	97

Tabla 32. Ejemplo de registro de climatización

En el periodo monitoreado y analizado se registraron en total 762 horas climatizadas artificialmente, las cuales representaron un consumo de energía de 373 kWh. Sin embargo con este gasto, en la mayoría de los casos no se alcanzaron niveles de confort en toda la vivienda, por lo que en el siguiente capítulo se hará una estimación del costo total de climatización para toda la vivienda, con el objetivo de cuantificar el costo total de acercar esta vivienda a niveles de confort de manera activa.

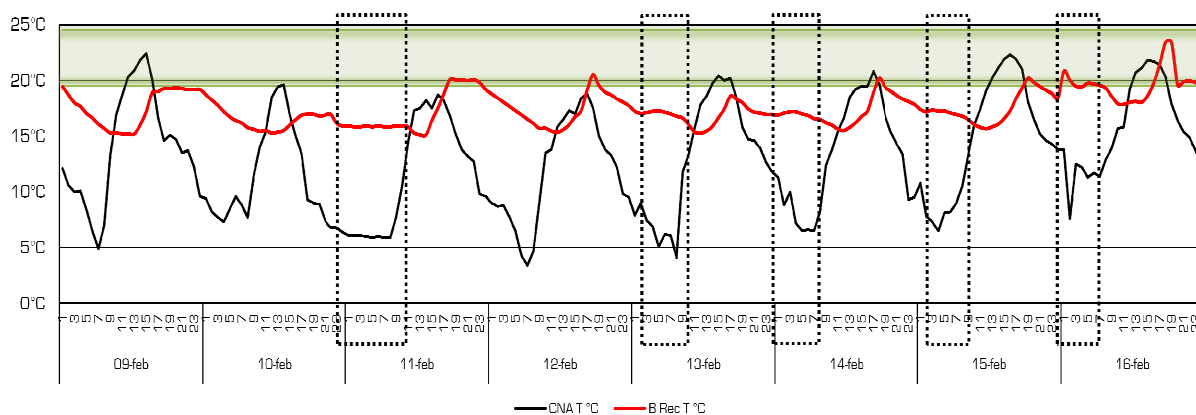
Uno de los espacios monitoreados en la vivienda B fue la recámara 2, la cual es un espacio que en la temporada invernal se climatiza generalmente durante las noches. Se observa en las gráficas de temperatura 51 y 52, en color rojo el comportamiento interior de la temperatura, en negro el exterior, con línea punteada las horas en que se utilizó el equipo de climatización.

A pesar de que con estas medidas de climatización, en ocasiones no se alcanzan temperaturas dentro de la zona de confort (franja verde) se mantiene más estable la temperatura que en los días en que no se utilizó apoyo para el acondicionamiento térmico. Se observa que en el mes de diciembre (gráfica 51) la recámara alcanzó temperaturas de 11°C cuando en el exterior existieron temperaturas de casi 5°C sin climatización y que con ésta se mantuvo una temperatura relativamente constante más cercana a la zona de confort.



Gráfica 51. Temperatura con climatización recámara 2. Diciembre

En la gráfica 52 se aprecia un comportamiento más uniforme dentro de la recámara 2 en el mes de febrero, sin embargo la temperatura interior se encuentra fuera de la zona de confort durante casi todo el tiempo, aún con apoyo de climatización artificial.



Gráfica 52. Temperatura con climatización recámara 2. Febrero

Finalmente, con lo expuesto en este capítulo se concreta que la vivienda A presenta un buen comportamiento con respecto a los criterios establecidos por el anteproyecto de NOM-020, contrariamente la vivienda B, que no solamente no cumple con el requisito mínimo sino que está muy alejada de cumplir con la normatividad; en un ejercicio comparativo se sostiene que, con respecto al anteproyecto de NOM-020 la vivienda A es notablemente mejor que la vivienda B en cuanto a eficiencia energética.

Sin embargo, es preciso mencionar que se encontró que la normatividad resulta un tanto restringida para este tipo de clima debido a que como se mencionó en un principio, está desarrollada para limitar las ganancias de calor y se basa en la temperatura de verano. De acuerdo a ello algunas soluciones como: el aislamiento térmico en un muro norte, el sombreado total de las aberturas y las ventanas al norte, representaron ventajas para el anteproyecto de NOM-020 cuando evidentemente para un clima semifrío resultan desventajas.

La auditoría energética permitió conocer las tendencias de consumo en una y otra vivienda, así como cuantificar mediante el registro, las horas climatizadas en la vivienda B para conocer cuánto se gasta en acondicionamiento térmico dentro de una vivienda convencional.

En el quinto capítulo se presentará el análisis económico de las propuestas de modificación elaboradas de acuerdo al anteproyecto de NOM-020 y se evaluará la rentabilidad con base en los valores definidos en la auditoría energética.

ANÁLISIS ECONÓMICO

El capítulo final de este trabajo, tiene como objetivo presentar un análisis económico que es consecuencia de los capítulos anteriores. En esta parte de la investigación, se estudió la rentabilidad económica de los casos de estudio con respecto a dos aspectos específicos que están ampliamente ligados con el capítulo anterior: el primero de ellos es la valoración económica de las propuestas de modificación que surgieron del análisis experimental y del anteproyecto de NOM-020, en este caso dichas propuestas constituyeron los costos de inversión; el segundo aspecto es el análisis de costos por climatización, los cuales fueron determinados con la auditoría energética y para esta investigación representaron los costos de operación.

Con base en lo anterior, se llevó a cabo un análisis de costo beneficio en el que se realizó una proyección económica en una escala de tiempo para visualizar la recuperación de la inversión de las propuestas; de la misma manera se hizo una regresión según la edad de las viviendas para determinar el impacto económico y el impacto ambiental de las mismas. A continuación se presentan los costos de inversión y de operación, así como el análisis de costo-beneficio estimado para cada caso de estudio.

5.1 Costos de inversión

Como se mencionó, para esta investigación se consideró como costo de inversión únicamente la valoración de las modificaciones propuestas para cada vivienda. Dichas modificaciones se desglosaron en conceptos de obra, los cuales se presupuestaron tomando en cuenta suministro, colocación, mano de obra y equipo, por lo que los precios unitarios presentados se

refieren a montos totales; dichos montos fueron valorados específicamente para la ciudad de Guadalupe, Zacatecas durante el mes de noviembre de 2008.

Para la estimación de cada concepto de obra se consultaron precios de materiales y/o cotizaciones con distintos proveedores y en varias ciudades, finalmente los costos de inversión se determinaron con los valores promedio obtenidos. Cabe mencionar que un análisis de costos siempre es aproximado y que precisamente por estar basado en condiciones promedio “la evaluación monetaria del costo no puede ser matemáticamente exacta” (Suárez, 2002).

A continuación se presentan los resultados de las estimaciones para las propuestas elaboradas con la finalidad de mejorar el confort térmico y la eficiencia energética de cada uno de los casos de estudio de esta tesis.

5.1.1 Vivienda A

En el capítulo anterior, para la vivienda A se propuso aislar térmicamente la cubierta con una capa de poliestireno de 5cm, sin embargo se cambió la propuesta por una capa de 10 cm, pues de acuerdo a los precios de los distribuidores encontrados en la zona, resultaba más conveniente la segunda opción. En la tabla 33 se presenta la cuantificación de dicha propuesta; en ella se describe el concepto de obra, se desglosan la superficie a cubrir y el costo por metro cuadrado, con los cuales se determinó el importe total de la modificación.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
Cubierta de poliestireno de 4", recubrimiento con mortero cemento-arena de 2.5cm de espesor reforzado con malla, impermeabilización.	m ²	75	\$230.05	\$17,253.52

Tabla 33. Costos de inversión. Vivienda A

Con una inversión total de \$17,254 se cubrirían los 75m² de la losa de azotea de toda la vivienda y se obtendría un beneficio en eficiencia energética de 27.7% con respecto a los criterios establecidos por el anteproyecto de NOM-020, lo que a su vez se reflejaría en el aumento de confort térmico sobre todo en la planta alta.

5.1.2 Vivienda B

Para la vivienda B, en el capítulo anterior se plantearon tres propuestas de diseño a fin de mejorar el funcionamiento térmico y energético de la misma y con ello lograr el cumplimiento de la normatividad aplicada. Las modificaciones propuestas consistieron en el aislamiento térmico de la losa de azotea, cancelería con doble acristalamiento en la mayoría de las ventanas (excepto baños y cocina), y por último aplicación de dispositivos de control solar en las ventanas con orientación oeste. En la tabla 34 se presenta la especificación de cada una de dichas propuestas.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
Cubierta de poliestireno de 4", recubrimiento con mortero cemento-arena de 2.5cm de espesor reforzado con malla, impermeabilización.	m ²	157.4	\$230	\$36,209.38
Ventanería Doble de 1" con vidrio claro de 6mm con cancelería de aluminio natural	m ²	48.075	\$2,785	\$133,889.34
Partesoles de cristal esmerilado de 4mm (0.3X1.5m)	m ²	7.2	\$975	\$7,020.00
Partesol de panel W de 3" (0.9X3.10m), con aplanado de 1.5cm de espesor en ambas caras y filos a plomo y regla con mortero cemento-arena 1:5 acabado liso, acabado final con pintura	pza	4	\$1,105	\$4,420.16

Tabla 34. Costos de inversión. Vivienda B

La primera modificación, representaría una inversión de \$36,209 y según el anteproyecto de NOM-020 brindaría un beneficio en eficiencia energética de 77.07% con respecto a la situación actual, pues llevaría la vivienda B de -112.97% a -25.91% para acercarse al cumplimiento de la norma.

Para la segunda propuesta, se consultaron proveedores de cancelería tanto de aluminio como de PVC en la ciudad de Zacatecas, sin embargo el costo era notablemente elevado por lo que fue necesario solicitar cotizaciones en las ciudades de Aguascalientes, León y la Ciudad de México⁷. Se obtuvo con los costos un monto total promedio de \$133,889 con un beneficio en eficiencia energética de 15.43%.

⁷ Algunos de los proveedores consultados son: Canceles Europeos de León, Aluglass, Vitro e Inntecgroup

La tercera propuesta se valoró en \$11,440 y consistió en la colocación de partesoles de panel W en la ventana oeste de la sala 2 de la planta baja (\$4,420), y partesoles de cristal esmerilado en las ventanas con orientación poniente de la planta alta (\$7,020). De acuerdo con el anteproyecto de NOM-020, con esta propuesta se obtendría un beneficio del 24.9%. Se cotizaron también para la planta alta, unos partesoles prefabricados de aluminio natural “ala de avión” sin embargo se elevaba más del doble el costo total de esta propuesta por lo que se descartó, ya que los beneficios obtenidos serían muy parecidos.

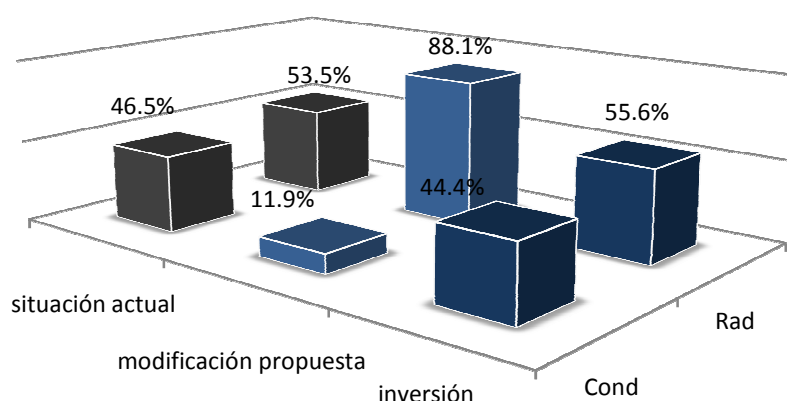
La posibilidad de llevar a cabo una idea depende de qué tan rentable resulta, por lo que de acuerdo al presupuesto anterior hubo que reflexionar el planteamiento de la cancelería doble ya que únicamente con la aplicación de la propuesta de aislamiento térmico en la cubierta y control solar en las ventanas con orientación poniente, se tendrían beneficios importantes con respecto a ganancias de calor por conducción y radiación, y solamente se requeriría una inversión de \$47,649.

No obstante, al considerar que el anteproyecto de NOM-020 está elaborado para brindar mayores beneficios en clima cálido, se buscó respetar el doble acristalamiento que de acuerdo con la norma únicamente representó beneficios por radiación. Sin embargo se ha probado ampliamente en la práctica que esta medida representa grandes ventajas en el clima frío, por lo que se vio la forma de conservar dicha propuesta con menores costos de inversión, de tal manera que se dio prioridad a las ventanas de las recámaras, pues es justamente en estos espacios donde se consideró que se tendrían mayores beneficios. Con ello se disminuyó notablemente el costo a \$33,977 como se observa en la tabla 35, pero se obtuvo únicamente un incremento de eficiencia energética de 4.57%; sin embargo, con la aplicación de esta medida, junto con las anteriores, se sigue cumpliendo con la normatividad aunque, evidentemente en menor proporción.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	IMPORTE
Ventanería Doble de 1" con vidrio claro de 6mm con cancelería de aluminio natural	m ²	12.2	\$2,785.01	\$33,977.12

Tabla 35. Costos de inversión cancelería doble. Vivienda B

Aplicando la medida anterior, se obtuvo un monto total de inversión de \$81,626. Retomando el anteproyecto de NOM-020 y las propuestas anteriores, se representa en porcentaje (gráfica 53) las ganancias de calor por conducción y radiación de la vivienda B. De izquierda a derecha: en su situación actual (edificio proyectado), con la modificación propuesta y la relación de los costos de inversión de las modificaciones: es decir que de los \$81,626 de inversión con el 44.4% (\$36,241) se obtendría un beneficio aproximado de 72% pues se reducirían notablemente las ganancias por conducción (de 5145 a 622 watts, de representar el 46.5% del total de las ganancias con la modificación constituirían únicamente el 11.9%); en consecuencia, con el 55.6% (\$45,384) del total de la inversión se obtendría un beneficio del 28% aplicado directamente a ganancias por radiación.



Gráfica 53. Relación ganancias de calor de: Situación actual y propuesta, con costo de inversión

De acuerdo a ello, y previo al análisis de costo beneficio, se visualiza que la medida propuesta para reducir las ganancias por conducción (aislamiento térmico de la cubierta) en este caso, resultó más eficiente que las dos propuestas para reducir las ganancias por radiación.

5.2 Costos de operación

En un análisis comparativo de costos de construcción de un diseño convencional y un diseño bioclimático, David Morillón define los costos de operación como lo que el usuario gasta en la vivienda para mantenerla funcional y para generar un ambiente de confort en la misma (Morillón, et al., 1999); de acuerdo a lo anterior y conforme con los objetivos de esta tesis, para

esta investigación se consideraron como costos de operación únicamente los costos de climatización.

Se sabe que existen costos asociados con el buen o mal funcionamiento térmico de una vivienda que son difíciles de cuantificar sin embargo se mencionan de manera reflexiva: ¿cuánto cuesta no utilizar todos los espacios de una vivienda, debido a que en ellos no se cuenta con las condiciones térmicas necesarias, de tal manera que los usuarios se acostumbran a subutilizar ciertas partes de la casa en algunas temporadas?; ¿qué costo tiene mantener una vivienda con un diseño arquitectónico inadecuado dentro o muy cerca de la zona de confort mediante sistemas activos, debido a que sus características físicas no permiten temperaturas de confort de manera pasiva?; en materia de salud de los usuarios ¿cuánto se invierte al año en enfermedades ocasionadas por las bajas temperaturas al interior de los espacios o por la falta de confort térmico en los mismos?, entre otros.

En las siguientes líneas se presentan los resultados de los costos de operación de los casos de estudio. Cabe mencionar que se hicieron algunas extrapolaciones de los mismos, las cuales permitieron un análisis más completo de los costos.

5.2.1 Vivienda A

Con base en la auditoría energética, la vivienda A tuvo un consumo anual en energía eléctrica de 3640 kWh con un costo anual de \$9,542; sin embargo en ella no se utiliza climatización activa, por lo que de acuerdo con la dinámica de esta investigación, no se presentaron costos de operación.

5.2.2 Vivienda B

Como se vio en el capítulo anterior, la vivienda B tuvo un consumo anual en energía eléctrica de 2923 kWh, el cual representó un monto anual de \$5,477; durante la auditoría energética se registró un consumo de energía eléctrica por climatización de 373 kWh, demanda que representó un costo de \$702, el cual se registró en los meses de noviembre a febrero. La climatización constituyó el 13% del total anual tanto del costo como del consumo; no obstante, en la temporada invernal representó cerca del 37%.

Cabe recordar que la climatización utilizada consistió en el empleo de calentadores eléctricos convencionales (780W aproximadamente) en las recámaras 1 y 2 durante algunas noches de

los meses de diciembre a marzo; además del empleo de una cobija eléctrica en la recámara principal durante cerca de dos meses. El uso parcial de los calentadores evidentemente responde a los usos y costumbres de los usuarios, pero también, a la configuración de la vivienda B, ya que su planta baja restringe de alguna manera el uso de este sistema de calefacción pues se trata de una distribución muy abierta por lo que el equipo se utiliza únicamente en lugares cerrados y controlados. Es por ello que, a pesar de la climatización, durante el periodo invernal la mayor parte de la vivienda B mantuvo temperaturas alejadas del rango de confort, en consecuencia, frecuentemente se limitó el uso de varios de los espacios en determinadas horas del día.

Atendiendo a lo anterior se buscó, por medio de extrapolación de datos, conocer cuánto costaría climatizar todos los espacios habitables de esta vivienda, con la intención de promover el uso de todas las áreas y cuantificar de alguna manera, lo que ha representado a lo largo del tiempo la limitación espacial dentro de la misma. De igual forma, conocer cuánto costaría mantenerla o acercarla al rango de confort en su situación arquitectónica actual.

Se conoce dentro de la vivienda B la superficie, demanda energética y número de horas climatizadas en dos espacios en los que cada año se utilizan equipos de climatización durante varios meses: las recámaras 1 y 2 de superficies análogas de 15.76m^2 y 16.10m^2 , y consumos de 172kWh y 170kWh respectivamente, con un costo resultante de \$320 y \$324 proporcionalmente (tabla 36).

	Área (m^2)	Consumo (kWh)	Consumo/ m^2 (kWh/ m^2)	Costo (\$)	Costo/ m^2 (\$/ m^2)	Horas climatizadas
Recámara 1	15.76	170.02	10.79	\$319.82	\$20.29	215
Recámara 2	16.10	172.28	10.70	\$324.07	\$20.13	185
Promedio	15.93	171.15	10.74	\$321.95	\$20.21	200

Tabla 36. Comparación de consumo eléctrico anual por climatización, recámara 1 y 2

Lo anterior dio un promedio de consumo anual de 171kWh con un costo de \$322. Estos resultados se extrapolaron en función del tamaño de la vivienda B para conocer de una manera sencilla el costo que se tendría si ésta se hubiera climatizado en su totalidad. Considerando que en las recámaras 1 y 2, con una climatización ocasional de aproximadamente 200 horas se demandaron $10\text{ kWh}/\text{m}^2$ por acondicionamiento térmico con un costo anual de $\$20/\text{m}^2$, se

estimó para el resto de la vivienda, un costo adicional al año de \$3,423 con una demanda anual de 1711 kWh para la climatización de los espacios habitables de la vivienda B, los cuales tienen una superficie de 171m².

Sin embargo, como se observó en las gráficas de temperatura y humedad de las recámaras 1 y 2 del capítulo 3, con este consumo de electricidad no se alcanzaron niveles de confort en la mayoría de los casos. De acuerdo a ello, se hizo una estimación para climatizar la vivienda en las horas en que la temperatura se aleja más de 3K del límite inferior de la zona de confort. El número de horas fue posible determinarse con base en el monitoreo realizado y las gráficas de porcentaje presentadas en el capítulo anterior.

Por ejemplo en el monitoreo de la recámara 2, en la que se utilizó un calentador convencional, se observó que no se alcanzaron temperaturas de confort en varias de las ocasiones en que el equipo se encontraba en funcionamiento, sin embargo notablemente la temperatura se mantenía constante. En esta habitación, durante 4 meses se monitorearon 2831 horas, de las cuales en 1456 la temperatura disminuyó más de 3K con respecto al límite inferior de la zona de confort. De acuerdo a lo anterior se hace el planteamiento de que en la recámara 2 se requerían 1456 horas adicionales de calentamiento activo (se climatizaron únicamente 185 horas) si se quisiera mantenerla en temperaturas dentro o muy cercanas al rango de confort durante los meses de diciembre a febrero. Lo anterior hubiera representado un gasto total de \$2,864 para una superficie de 16.10m², es decir una demanda por climatización de 94.76 kWh/m²/año.

Considerando como referencia los mismos datos de la recámara 2 se determinó que, climatizar una superficie de 1 m² durante una hora costó aproximadamente \$0.109. Conocer estos valores permitió hacer una extrapolación para estimar la climatización de los casos de estudio, considerando que de acuerdo con el monitoreo realizado se tiene el número de horas en planta baja y planta alta en que éstas se encontraron en bajo calentamiento, por lo que a pesar de que se tienen datos de climatización únicamente de la vivienda B se hizo la extrapolación para ambas viviendas con la misma referencia.

Tomando como base al monitoreo presentado en el capítulo 3, se sumaron las horas en bajo calentamiento a más de 3K (de la zona de confort) de los meses de noviembre a febrero de la planta baja y alta de cada vivienda. La superficie que se propuso para climatización excluye cocina, sanitario, baños y lavandería de cada vivienda, así como la bodega de la vivienda A. En

las tablas 37 y 38 se presenta la estimación de la climatización total de las viviendas, tomando como referencia la habitación antes mencionada; en ellas se describe mensualmente el número de horas medidas que se consideró requieren de apoyo térmico, así mismo se presenta el costo por climatización de 1 m² durante 1 hora, el cual junto con la superficie a climatizar en cada planta generó montos subtotales que se sumaron en la parte inferior de dichas tablas.

	costo de climatización /hora/m2	Planta baja A			Planta alta A			Total	
		No. horas a -3K de confort	superficie a climatizar m2	Subtotal	No. horas a -3K de confort	superficie a climatizar m2	Subtotal		
noviembre	\$0.11	106	64.43	\$744.42	134	76.12	\$1,111.81	\$1,856.23	
diciembre	\$0.11	8		\$56.18	55		\$456.34	\$512.52	
enero	\$0.11	325		\$2,282.43	272		\$2,256.81	\$4,539.24	
febrero	\$0.11	8		\$56.18	60		\$497.82	\$554.01	
		Total			\$3,139.22	Total		\$4,322.78	\$7,462.00

Tabla 37. Extrapolación de consumo vivienda A

Tomando como referencia los costos de operación de la vivienda B, se estimó para la vivienda A un costo de \$7,462 para climatizar 140.5m² que constituyen los espacios habitables de la misma y que serían climatizados durante 447 horas en planta baja y 521 en planta alta.

Con la misma dinámica, se hizo la extrapolación de la vivienda B (tabla 38) y se obtuvo un monto de \$18,711 para 171m², de los cuales \$8,945 correspondieron a la planta baja y \$9,766 a la planta alta. De acuerdo con el monitoreo se determinó que para la planta baja de dicha vivienda es necesaria la climatización durante 958 horas y en planta alta durante 1048 horas.

	costo de climatización /hora/m2	Planta baja B			Planta alta B			Total
		No. horas a -3K de confort	superficie a climatizar m2	Subtotal	No. horas a -3K de confort	superficie a climatizar m2	Subtotal	
noviembre	\$0,11	239	85,67	\$2.231,79	294	85,49	\$2.739,61	\$4.971,40
diciembre	\$0,11	48		\$448,23	244		\$2.273,69	\$2.721,92
enero	\$0,11	517		\$4.827,76	449		\$4.183,97	\$9.011,73
febrero	\$0,11	154		\$1.438,06	61		\$568,42	\$2.006,48
		Total		\$8.945,83	Total		\$9.765,69	\$18.711,53

Tabla 38. Extrapolación de consumo vivienda B

Se sabe que los espacios no se utilizan con la misma demanda y en los mismos horarios, por lo que habría que calcular cada espacio de acuerdo con los usos y costumbres de los usuarios, sin embargo esta extrapolación responde solamente a conocer cuánto costaría mantener las viviendas dentro de los rangos de temperatura confortables para cuatro meses del año, los cuales idealmente y con la aplicación de diseño bioclimático se podrían mantener con temperaturas más confortables de manera pasiva.

5.3 Tabla de resumen

En la siguiente tabla se resumen y comparan los resultados de ambas viviendas con relación a la auditoría energética, el anteproyecto de NOM-020 y el análisis económico, posteriormente se hace un análisis de costo beneficio para cada vivienda.

Evaluación		A	B
		vivienda con principios bioclimáticos	vivienda convencional
Auditoría energética	Consumo eléctrico anual (kWh)	3640	2923
	Consumo por climatización, temporada invernal (kWh)	0	373
NOM-020	Eficiencia energética situación actual	20.26%	-112.97%
	Eficiencia energética situación propuesta	47.96%	2.33%
	Beneficio	28%	115%
Análisis económico	Costo de modificaciones	\$17,254	\$81,627

Tabla 39. Resumen eficiencia energética y análisis económico

5.4 Análisis de costo-beneficio

El objetivo de un análisis de costo beneficio es medir el grado de eficiencia de un proyecto o propuesta, determinar qué tan rentable es dicho proyecto mediante la comparación de los costos y los beneficios derivados de la implementación de los mismos (Morillón, et al., 1999).

El análisis de costo beneficio tiene diversos campos de aplicación y es un proceso de evaluación ampliamente utilizado; la dinámica del mismo generalmente es similar para cualquier disciplina: se ponen en una balanza los efectos positivos contra los negativos. En este caso, de un lado estarían los beneficios de implementación de las modificaciones, que responden a lo que aparentemente se ahorraría con la aplicación de las propuestas de diseño; del otro lado de la balanza, los costos de inversión que aparecerían en números negativos puesto que es lo que se requiere para obtener dicho beneficio. Al hacer la comparación de estas dos variables se sacó una relación que permitió cuantificar los beneficios.

Como se mencionó anteriormente un análisis de costo beneficio existen diversos factores de carácter subjetivo que no se cuantifican fácilmente, por ejemplo: cuánto vale tener o no condiciones de confort térmico, cuánto cuesta la necesidad de subutilizar ciertos espacios de una vivienda, cuánto se gasta anualmente en problemas de salud ocasionados por las bajas temperaturas en el interior de los espacios; ninguno de ellos, a primera instancia se cuantifica monetariamente. De acuerdo a lo anterior, dentro de este análisis, se buscó la manera de darle valor económico algunos de estos factores. En las siguientes líneas se presenta el análisis de costo beneficio elaborado para cada uno de los casos de estudio de esta tesis.

5.4.1 Vivienda A

En la determinación de los beneficios obtenidos para la vivienda A se presentaron dos situaciones: la situación real (sin climatización) y la situación supuesta (con climatización). La primera presenta la condición actual que responde a los usos y costumbres de los usuarios en la que la vivienda durante varias horas se mantuvo fuera del rango de confort; la segunda presenta una simulación de lo que costaría mantener dentro o muy cerca del rango de confort térmico la vivienda por medio de sistemas activos de climatización. Como se dijo, la intención

de suponer una situación de confort térmico durante la mayor parte del tiempo, tuvo el objetivo de darle un valor económico al confort térmico, así como determinar cuánto ha costado el disconfort a lo largo de la vida de las viviendas.

Al comparar los costos con los beneficios para el presente caso de estudio, se tuvo un costo de inversión de \$17,253 con el que, respecto al anteproyecto de NOM-020 se obtendría un beneficio de 27.7% de mejoramiento de la eficiencia energética. Para darle valor económico a la eficiencia energética, se determinó el ahorro anual supuesto de energía eléctrica por climatización, es decir \$7,462 y se consideró el 27.7% del mismo, obteniendo un ahorro anual de \$2,067 (tabla 40).

		Propuesta	Costo	Beneficio/año			Periodo de amortización
Vivienda A	c/climatización total	poliestireno	\$17,253.52	\$7,462.00	28%	\$2,066.97	8.35 años
	s/climatización		\$17,253.52	\$0.00	28%	\$0.00	-

Tabla 40. Análisis de costo-beneficio. Vivienda A

Al hacer una relación de los costos y los beneficios se tendría un valor de 8.35, para una situación supuesta de obtención de condiciones de confort por medio de sistemas activos, y de cero para la situación real; es decir que si se invirtiera en la propuesta de aislamiento térmico, a fin de elevar en 27.7% la eficiencia energética y mejorar notablemente el desempeño térmico de la vivienda A, a grandes rasgos, en aproximadamente ocho años se recuperaría dicha inversión en la situación supuesta, contrariamente con la situación real en la que dicha inversión no se puede recuperar. De acuerdo con lo anterior se determina que llevar a cabo la propuesta de mejoramiento resulta viable con respecto a elevar las condiciones de confort térmico para los usuarios.

5.4.2 Vivienda B

En la vivienda B, de la misma manera se presentan como parte del análisis de costo beneficio dos situaciones: la situación real (con climatización ocasional y disconfort durante la mayor

parte del tiempo en la temporada invernal) y la situación estimada (con niveles de confort obtenidos con climatización activa). En la tabla 41 se presentan ambas opciones.

El presupuesto de los costos de inversión para la vivienda B dio un monto total de \$81,626; los beneficios de la aplicación de la propuesta representarían un mejoramiento en eficiencia energética y confort térmico distribuidos de acuerdo a los criterios del anteproyecto de NOM-020 de la siguiente manera: 72% de beneficio correspondiente al aislamiento térmico de la cubierta, 4% proveniente de la aplicación de cancelería doble en las ventanas de las recámaras y 23% con la propuesta de control solar.

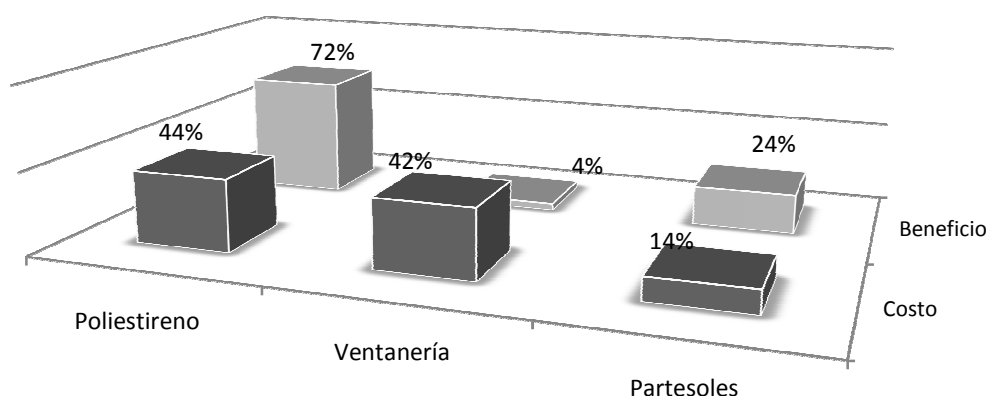
El beneficio real, de acuerdo con la relación de horas climatizadas sería el ahorro de \$702 anuales aproximadamente; sin embargo si se considera el valor calculado para mantener la vivienda B dentro o muy cerca del rango de confort con sistemas activos en su condición arquitectónica actual, se obtendría un beneficio de \$18,710 al año. En la columna extrema derecha de la tabla 41 se presenta la relación costo beneficio de cada una de las propuestas de diseño en la situación real y en la supuesta.

		Propuesta	Costo	Beneficio/año			Periodo de amortización	
Vivienda B	c/climatización total	Poliestireno	\$36,209.38	\$18,711.53	72%	\$13,535.92	2.68	años
		Ventanería	\$33,977.12		4%	\$800.85	42.43	años
		Partesoles	\$11,440.16		23%	\$4,372.88	2.62	años
		total	\$81,626.66	\$18,711.53	100%	\$18,709.66	47.72	años
	c/climatización parcial	Poliestireno	\$36,209.38	\$702.00	72%	\$507.83	71.30	años
		Ventanería	\$33,977.12		4%	\$30.05	1130.85	años
		Partesoles	\$11,440.16		23%	\$164.06	69.73	años
		total	\$81,626.66	\$702.00	100%	\$701.93	1271.89	años

Tabla 41. Análisis de costo-beneficio. Vivienda B

Como pudo observarse en la tabla anterior, la propuesta más redituable es el aislamiento térmico, puesto que con una inversión aproximada de \$36,209 se obtendría un beneficio del 72% con menor tiempo de recuperación de la inversión. Así mismo, se observa que de acuerdo con el anteproyecto de NOM-020 la cancelería doble no refleja el beneficio real de dicha propuesta debido a que la hace ver desde cualquier aspecto incosteable tanto en la situación supuesta como en la real, debido a que con un costo de \$34,000 que representa el 42% de la

inversión se obtuvo un beneficio únicamente del 4%. Los partesoles representaron una inversión aproximada de \$11,400, es decir el 14% del total de la inversión con un beneficio del 23%. Lo anterior, se presenta en la gráfica 54 en la que se relacionan los costos y los beneficios de cada modificación propuesta.



Gráfica 54. Porcentajes de costo-beneficio. Vivienda B

De acuerdo con lo anterior y con el desarrollo de esta tesis, se plantea a manera de reflexión, cuánto se habría incrementado el costo total de las viviendas con un proyecto arquitectónico adecuado en el que las propuestas de diseño bioclimático estuvieran presentes. Sin embargo, plantear una modificación a viviendas de 20 y 30 años de vida o más, resulta en algunos casos incosteable si sólo se consideran los aspectos económicos, debido al costo de la energía y a lo que representa una modificación en una construcción existente. Como se vio, las propuestas presentadas en esta tesis, se plantearon bajo la consideración de que, por tratarse de viviendas en funcionamiento las modificaciones fueran sencillas, sin embargo en la parte de conclusiones de esta tesis se presentan recomendaciones de diseño bioclimático aplicables a construcciones nuevas.

Además de lo anterior, vale la pena pensar en la rentabilidad en un nivel general, por lo que al hacer un análisis del impacto ambiental de la vivienda B se obtuvo, que si en un año se gastan aproximadamente 373 kWh para efectos de climatización, en el tiempo de vida de la misma se habrían gastado aproximadamente 8955 kWh, lo que equivale, según el Balance Nacional de Energía 2005, a 58 barriles de petróleo de energía primaria. Es decir que a lo largo de 24 años se habrían emitido aproximadamente 6,000 Kg de dióxido de carbono al ambiente (García & Fuentes, 2000, p. 27), emisiones que en caso de haber existido un diseño arquitectónico adecuado podrían haber sido reducidas o eliminadas. Considerando como referencia la

climatización parcial de la vivienda B (que en realidad es baja), para 100 viviendas de la zona que requieren de climatización se estaría hablando de que anualmente durante la temporada de frío se podrían evitar 25,000 Kg de CO₂ en el ambiente con construcciones más adecuadas.

Es importante mencionar con respecto al costo de energía, que como se vio en la vivienda B se pagan aproximadamente \$700 al año por acondicionamiento térmico, sin embargo el costo de la energía también lo absorbe (y en mayor magnitud) el país; si se considera que aproximadamente un barril de petróleo cuesta 50 USD, se estaría hablando de que el país gasta al año, aproximadamente \$2,300 por cada vivienda con climatización parcial en esta zona (tabla 42).

	Demanda		Costo				Costo ambiental	
	kWh	Barriles de petróleo	por barril de petróleo	al país	al usuario	total	Kg de CO ₂ /kWh	Kg de CO ₂
En 1 año	373	2.43	\$653	\$1,583	\$702	\$2,285	0.681	254
En 24 años	8955	58.21	\$653	\$38,001	\$16,845	\$54,846	0.681	6,098

Tabla 42. Impacto ambiental por climatización artificial. Vivienda B

Tomando como referencia la encuesta aplicada al principio de esta tesis, en la que el 37% de las viviendas de las personas encuestadas utilizan climatización activa durante el periodo invernal, correspondiendo 30% a equipo de calentadores, se puede suponer nuevamente que de 100 viviendas de la zona, aproximadamente 30% podrían climatizarse lo que representaría un gasto para el gobierno aproximado de \$70,000 durante los meses de frío para climatizar únicamente 30 viviendas.

De acuerdo a ello, se concluye que la vivienda adaptada con su entorno y que responda adecuadamente a las inclemencias del clima de las ciudades de Guadalupe y Zacatecas, resulta rentable también en un nivel generalizado: aplicar medidas bioclimáticas en las viviendas de la zona, representaría grandes beneficios tanto para los usuarios como para el gobierno.

La idea anterior se supone a manera de reflexión considerando que a través de la aplicación de criterios de arquitectura bioclimática se lograrían beneficios importantes en cuanto a confort de los usuarios, ahorro económico, energético y mejores condiciones ambientales es decir, consecuencias favorables a nivel usuario y a nivel ciudad.

CONCLUSIONES

Es factible establecer una comparación entre dos viviendas aparentemente opuestas, siempre y cuando se tenga presente cuáles de sus elementos se pueden relacionar cualitativa o cuantitativamente. En este caso, la comparación permitió establecer una relación entre la vivienda que se consideró con principios bioclimáticos y la convencional, lo que finalmente dio la posibilidad de ubicar, mediante los mismos mecanismos de evaluación y en un mismo plano de referencia, cuál resulta más confortable, energéticamente más eficiente y por lo tanto, más rentable para los usuarios.

Según los antecedentes encontrados, se observó que existen muy diversas formas de llevar a cabo una evaluación bioclimática para una vivienda; hay experimentos en los que se analiza una sola variable y el resto se controlan o eliminan; otras, como la de esta tesis, en la que se valoran en conjunto las variables que intervienen, siendo los usuarios parte de estas variables: sus usos y costumbres, incluso la misma presencia (abrir o cerrar una ventana, el que una casa esté llena o vacía, cortinas abiertas o cerradas, el calor metabólico de las personas, el equipo eléctrico encendido, etc.) influyen en el desempeño térmico de la vivienda. Sin embargo es la condición real y no inducida, del ambiente interior de una vivienda: la mayoría de los “productos” que se sacan al mercado son valorados en ambientes controlados y se desconoce la mayoría de las veces cómo se comportan en su realidad. En esta tesis se determinó evaluar una vivienda en su situación normal de habitabilidad, pues es justamente como la percibieron los usuarios.

Como herramientas de las opciones anteriores, entre otros mecanismos de evaluación, se encuentran el monitoreo físico y la simulación térmica, la segunda opción actualmente es utilizada en mayor proporción que la primera; sin embargo se considera que ambas son

importantes y complementarias. Haber monitoreado en condiciones usuales las viviendas, permitió probar numéricamente el comportamiento real de cada una de ellas. En una simulación térmica se controlan e inducen las variables, cosa que en un experimento en sitio no se da. Idealmente y si se trata de edificios construidos, la simulación térmica y el monitoreo deben complementarse para enriquecer el estudio. En este caso, se realizó la parte de monitoreo, sin embargo existe el interés de hacer corridas de simulación térmica con algunos de los datos obtenidos para enriquecer los resultados.

Con respecto a los objetivos generales planteados y alcanzados en esta tesis se concluye:

Se mencionó durante la selección de los casos de estudio, que idealmente una vivienda “bioclimática” para la ciudad de Guadalupe, Zacatecas debería contar con más elementos de diseño que la aproximen al término, sin embargo no se encontró como tal por lo que se le dio el nombre de vivienda “con principios bioclimáticos”; caso contrario, se corroboró durante el proceso de selección de los casos de estudio, que en la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe no hay ejemplos recurrentes de vivienda contemporánea en los que la principal variable considerada dentro del diseño sea el clima. Como se vio, se midieron dos viviendas que se consideraron con principios bioclimáticos, sin embargo la primera de ellas presentó severas oscilaciones térmicas en los meses de junio a agosto por lo que se descartó como caso de estudio; lo anterior se menciona para hacer notar que en tres viviendas evaluadas de la ciudad de Guadalupe, se encontró que, sobre todo en dos de ellas, las oscilaciones térmicas son altas y poco el tiempo en que estaban en confort, lo que denota cierta deficiencia en el diseño arquitectónico o al menos en la obtención de resultados confortables. De acuerdo a lo anterior se sostiene que existe gran necesidad de implementar estrategias de diseño que ayuden al confort térmico en las viviendas de esta zona.

Al comparar térmicamente la vivienda A con la vivienda B, se obtuvo que la vivienda con principios bioclimáticos presentó mejor desempeño que la convencional, como se observó en las gráficas del capítulo 3, sin embargo se sacó una relación final de los meses de noviembre 2007 a febrero 2008, que es el periodo que interesaba más de acuerdo con los objetivos de esta investigación. Se promedió el total de horas en confort tanto en planta baja como en planta alta de las dos viviendas y se obtuvo que para los meses de noviembre 2007 a enero 2008 la vivienda A presentó 29% de las horas dentro del rango de confort con respecto a la vivienda B que presentó el 18%. Sin embargo, al sacar un rango más amplio de $\pm 1K$ para sondear qué

tan lejos o cerca se encuentran las viviendas del rango de confort, se obtuvo que 59% del tiempo la vivienda A se encontró dentro o a menos de 1K de la zona de confort en contraste con la vivienda B que tuvo 37%.

Un aspecto importante es que la vivienda B, presentó variaciones significativas de temperatura de una planta a otra e incluso dentro de una misma planta, de un espacio a otro; aspecto que afecta constantemente el confort térmico de los usuarios ya que fácilmente se percibe un cambio de temperatura y el cuerpo tiene que realizar mayor esfuerzo de adaptación al cambiar de un espacio a otro. La vivienda A trabaja en conjunto y la variación de temperatura de un espacio a otro y de una planta a otra se desenvuelve en un rango más estrecho que la vivienda B. Lo anterior se confirmó también con las lecturas de temperaturas máximas y mínimas, en las que se observó que la vivienda A se desenvuelve en un rango de temperatura notablemente menor que la vivienda B.

Al promediar las temperaturas máximas y mínimas de los meses de noviembre 2007 a febrero 2008 se observó que la vivienda A presenta oscilaciones medias de 4K tanto en planta baja como en planta alta; en la vivienda B se tienen promedios de 7K. De igual forma, si se consideran los mismos meses se obtiene que la vivienda A presentó oscilaciones extremas en los 4 meses de 10 y 12K, con respecto a la vivienda B que presentó oscilaciones de 17K en planta baja, y 14 y 15K en las habitaciones de la planta alta (en las cuales existió climatización ocasional). Se concreta que con las lecturas de temperatura máxima y mínima se observó una diferencia más pronunciada en el comportamiento térmico de las viviendas, mostrando siempre mejores resultados la vivienda A.

Con el monitoreo constante además de las lecturas de temperatura superficial, se comprobaron dos cosas: la primera es el fuerte impacto que tiene la cubierta con relación al resto de los elementos, ya que en las dos viviendas la planta baja se encontró siempre más estable (dentro o fuera del rango de confort) que la planta alta, misma que sufría oscilaciones térmicas severas que respondieron a las variaciones exteriores sobre todo de radiación y temperatura; de acuerdo a ello se plantea que debe existir especial interés en el diseño térmico de la cubierta, pues es la parte de la envolvente que en estos casos aportó mayores ganancias por conducción. Otro de los aspectos observados, fue la afectación de la orientación de una losa inclinada, ya que en la misma cubierta y a la misma hora se registraron diferencias significativas

de hasta 10K entre la parte norte y sur; de acuerdo a ello se concreta que en la ciudad de Guadalupe, Zacatecas, se deben evitar las cubiertas orientadas hacia el norte.

Así mismo, se corroboró cualitativamente el efecto del calor metabólico, ya que notoriamente en dos ocasiones de frío en el exterior y bajo calentamiento en el interior, se llegó a la zona de confort y se sobrepasó el límite superior de la misma, con la presencia de un número significativo de personas. Otro de los aspectos cualitativos percibido, fue la influencia de la actividad metabólica en la sensación de confort, pues al monitorear las temperaturas máximas y mínimas del cuarto de estudio de la vivienda A, mismo que es considerado como un espacio relativamente frío por sus ocupantes, se observó que manejó generalmente las mismas temperaturas que el resto de la planta baja y se comprobó que la mayor parte del tiempo presentó temperaturas confortables (a excepción de algunos días de enero); sin embargo la actividad que se desempeña dentro de este espacio es muy baja, por lo que a pesar de sus niveles de confort es percibido por los usuarios como un espacio ligeramente frío.

Con respecto a confort higrométrico se percibió que la mayor parte del tiempo las viviendas se mantienen en el rango de confort a excepción de algunos días de enero y febrero en los que se puede considerar que la sensación de temperatura disminuye con la falta de humedad. Durante el mes de febrero la humedad desciende notablemente al interior de la vivienda B y en menor proporción en la planta baja de la vivienda A.

Al comparar lumínicamente la vivienda A con la vivienda B se observó que ambas viviendas manejan niveles adecuados de iluminación, sin embargo la vivienda B, que tiene en proporción mayor superficie vidriada, presenta niveles de iluminación más elevados que la vivienda A (excepto en el comedor). De acuerdo a ello y a las mediciones de temperatura se concluye que se deben dimensionar las áreas acristaladas en función del contacto con el exterior, la iluminación y el comportamiento térmico; y no solamente con respecto a las primeras, como comúnmente se hace en las viviendas de la zona. Actualmente existen dispositivos lumínicos de alta eficiencia así como distintos tipos de cristales que pueden ayudar a encontrar dicho equilibrio.

Otro de los objetivos alcanzados tiene que ver con la realización de la auditoría energética, en la cual se encontró que el gasto más representativo de energía, dentro de la vivienda A es para iluminación, aspecto que de alguna manera se puede relacionar con el párrafo anterior. En el rubro de climatización artificial no existe consumo dentro de la vivienda A, sin embargo en la B

es el más importante en el periodo frío, aunque no representa un gasto económico elevado debido a que la climatización es sólo en las recámaras. No obstante, como se vio en el capítulo cinco climatizar toda la vivienda para lograr temperaturas dentro o muy cerca del rango de confort representaría un gasto muy elevado.

En los espacios climatizados se observó que, a pesar del empleo de calentadores eléctricos y de que los niveles térmicos se elevaron o mantuvieron estables, la mayor parte del tiempo la temperatura interior se encontró fuera de la zona de confort durante casi todo el tiempo aún con el apoyo de la climatización artificial. Es decir que a pesar de la climatización activa de la vivienda B, no se consiguieron temperaturas confortables la mayor parte del tiempo, durante los meses de noviembre 2007 a febrero 2008.

Al evaluar la eficiencia energética de los casos de estudio bajo los criterios establecidos por el anteproyecto de norma NOM-020-ENER se observó que existe una amplia diferencia entre ellos: la vivienda A cumple la norma con 20.26% de eficiencia energética en contraste con la vivienda B que no solamente no la cumple si no que está a más del doble de acercarse al límite permitido por el edificio de referencia, pues presenta -112.97%.

Se observó durante la evaluación de las viviendas con la metodología del anteproyecto de NOM-020, que los elementos que tienen mayor contribución en la eficiencia energética de la vivienda A son: el tipo de vidrio que presenta menor transferencia que un cristal claro; el plafón de la recámara principal, el cual aísla el intercambio térmico del interior hacia el exterior; el tipo de cubierta con cámaras de aire en su interior así como el muro de la sala con la misma particularidad. Es decir que el tipo de vidrio disminuyó las ganancias de calor por radiación y el aire, en la cubierta y en los muros, aisló la transferencia de calor por conducción del exterior hacia el interior y viceversa.

En cuanto a los criterios establecidos por la normatividad, hay que mencionar que la temperatura equivalente que propone la norma está calculada en función de la temperatura de verano, de acuerdo a ello se hace la sugerencia de una adecuación que considere el periodo cálido y el frío, pues está elaborada para todo el país y no debería considerar solamente la temporada y el clima cálido. De acuerdo a lo anterior, que su aplicación en un bioclima semifrío no dé los mejores resultados, como el hecho de otorgar ventaja a un muro orientado al norte por las pérdidas que puede representar, lo cual es sin duda una ventaja para el mes de mayo, no

obstante representa un problema de pérdidas durante los meses más fríos; así mismo, el hecho de que las ventanas con orientación norte representen valores negativos es una virtud para la norma, sin embargo en la realidad la mayor parte del año representan pérdidas de calor hacia el exterior.

Al considerar la suma de ganancias por conducción del edificio de referencia se observó que en el caso de la ciudad de Zacatecas se tienen valores nulos de los muros oeste, así como de las ventanas con orientación este, sur y oeste. Lo anterior debido a que la temperatura equivalente de dichos elementos es semejante a la temperatura interior, lo que indica que no existe transferencia de calor en estas porciones. Nuevamente, lo que en verano resulta una ventaja en la suma de ganancias en invierno, para este tipo de clima, representa pérdidas que no están consideradas por el anteproyecto de norma, y contrariamente a estar evaluando positivamente la eficiencia energética se estaría hablando de requerimientos de climatización artificial para calentar, lo que equivale a ineficiencia energética. Al analizar la porción 7 de la vivienda B, que representa un muro hacia el norte con aislamiento térmico, se observó la afectación que esta medida presenta con respecto al anteproyecto de norma, pues la suma de pérdidas es menor con aislante térmico que sin él; aspecto que valdría la pena replantear. Así mismo la norma denomina muros masivos a partir de 10 cm, lo que se considera que es muy bajo, pues la mayoría de los sistemas constructivos tradicionales fácilmente cumplen con esta especificación.

Si se compara el desempeño del monitoreo ambiental con los resultados de la norma, se advierte una gran diferencia de uno con respecto a la otra, ya que existe notablemente mayor contraste entre las viviendas en los resultados obtenidos con la norma que en los resultados del monitoreo ambiental.

Con respecto a la rentabilidad económica se concluye que la aplicación de criterios bioclimáticos en la arquitectura es completamente rentable, debido a que en muchas ocasiones depende exclusivamente de la habilidad del diseñador y no representa un gasto extra; en otros casos puede representar un gasto adicional, no necesariamente elevado; sin embargo, plantear una modificación a viviendas de 20 y 30 años de vida o más, resulta en algunos casos incosteable, si sólo se consideran los aspectos económicos, debido al costo de la energía y a lo que representa una modificación en una construcción existente, sin embargo existen medidas sencillas y económicas como el aislamiento térmico que resultó ser altamente eficiente.

Si se atiende a los aspectos de confort y no solamente a aspectos económicos, como se vio en las extrapolaciones del capítulo anterior, el diseño bioclimático resulta muy redituable pues se estarían absorbiendo los costos de operación a través de una inversión mayor pero que, como se mencionó, se puede recuperar en menos de tres años para la vivienda B y en ocho para la vivienda A; visto de este modo el ahorro de energía es muy redituable.

En conclusión, de acuerdo con la hipótesis planteada en las primeras líneas de este trabajo, se puede decir que se comprobó mediante un monitoreo de más de 6,000 horas durante nueve meses, para la vivienda con principios bioclimáticos, que el 80% del tiempo del periodo invernal se podría no climatizar el ambiente interior de la misma y para la vivienda convencional el 59%. Para establecer lo anterior se tomó el siguiente criterio: de los datos horarios obtenidos se determinó que los que se agrupan en temperaturas iguales o inferiores a $-3K$ de la zona de confort son susceptibles a climatización activa durante los meses de noviembre a enero, por lo que los valores dados anteriormente responden a las gráficas de horas monitoreadas en porcentaje (gráfica 40). Si se considera todo el tiempo del monitoreo se obtiene que la vivienda A se encontró 85% del tiempo a menos de $3K$ de la zona de confort a diferencia de la vivienda B que presentó el 74%.

Para generalizar la hipótesis a toda la zona de estudio es necesario evaluar una cantidad considerable de viviendas, sin embargo se tiene como antecedente que en esta investigación el 85% del tiempo, el caso de estudio considerado en este trabajo como “vivienda con principios bioclimáticos”, se encontró a menos de $3K$ de la zona de confort durante el tiempo que se evaluó.

Recomendaciones de diseño

De acuerdo con el análisis bioclimático de la ciudad de Guadalupe, los principales criterios de diseño en los que se consideren las variables ambientales, en la búsqueda del confort térmico de los usuarios y la eficiencia energética, tienen que ver principalmente con: la orientación, los materiales de la envolvente, la configuración y el tamaño de las aberturas. En concordancia con lo anterior y de acuerdo con el desarrollo de esta tesis se proponen las siguientes recomendaciones de diseño para las viviendas de la zona conurbada Zacatecas-Guadalupe, la cual presenta un bioclima semifrío seco:

1. Buscar la mayor incidencia solar en la fachada, sobre todo en los meses más fríos y evitar grandes asoleamientos durante las tardes de los meses de mayo y junio. Cabe destacar la ventaja de la orientación sur, pues es fácil de controlar en tiempo de calor y permite el mayor asoleamiento en tiempo de frío.
2. Los dispositivos de control solar como pérgolas, partesoles, vegetación, etc., deben diseñarse con geometría solar, en función de: obstruir el sol en tiempo de calor únicamente durante las horas de la tarde y permitir el paso de la radiación directa el resto del año, principalmente durante el invierno garantizando así que no se sombrée innecesariamente la fachada.
3. Se debe cuidar la proporción de las ventanas hacia el norte pues representan pérdidas de calor, una opción es utilizar doble acristalamiento; las ventanas con orientación oeste deberán contar con dispositivos de control solar.
4. Se debe tener especial interés en que la cancelería esté bien sellada debido a que las temperaturas y velocidades de viento que existen en el exterior pueden provocar fuertes infiltraciones.
5. Cuando se requiera de iluminación cenital se buscará que los domos sean de doble acristalamiento, o en el mejor de los casos deberán cambiarse por lucernarios.
6. Si una losa debe ser inclinada, es conveniente buscar la orientación al sur, en caso de que esto no sea posible se debe evitar la orientación norte debido a que difícilmente recibirá asoleamiento, lo que representaría pérdidas de calor en los meses más desfavorables.
7. Los materiales masivos presentan ventaja con respecto a la norma 020, por lo que habrán de utilizarse muros sólidos preferentemente de más de 10cm; entre mayor espesor y solidez tengan éstos se controlará o retardará el intercambio térmico del interior y el exterior.
8. El aislamiento con aire respondió favorablemente en el anteproyecto de NOM por lo que se buscará que la cubierta esté aislada en su exterior para evitar ganancias y pérdidas

excesivas; el aislamiento térmico con poliestireno de la cubierta resultó ser para el anteproyecto de NOM-020 la solución más eficiente.

Uno de los alcances de este trabajo fue hacer recomendaciones al Reglamento de Construcción del Estado de Zacatecas, por lo que se concreta que de las sugerencias anteriores las que son factibles a ser normadas en un futuro son:

1. Se deberá aislar térmicamente la cubierta correspondiente a espacios habitables con mínimo 5cm de poliestireno o similar.
2. Los materiales de la envolvente deberán ser masivos como adobe, tabique, tabicón con espesores mayores a 10cm.
3. La relación del vano contra el macizo deberá ser del 20%, o en caso contrario utilizar protecciones en las ventanas de mayor proporción.

Finalmente, cabe mencionar que se ha logrado generar una base de datos de monitoreo de temperatura y humedad relativa de dos viviendas durante nueve meses, la cual será de gran utilidad para estudios futuros de confort térmico e higrométrico, análisis bioclimático, simulación térmica, etc., para la ciudades de Guadalupe y Zacatecas.

REFERENCIAS

- Alpuche, M., Marincic, I., & Ochoa, J. M. (2008). Análisis lumínico de las aulas del programa de arquitectura-unison. *Memorias 32 Semana Nacional de Energía Solar*, 77-81.
- Arauza E., L. (1984). Aspectos de la relación que ejerce entre sí la ecología y la arquitectura. *PLEA*.
- Aristóteles. *Obra Metafísica, libro X*: traducido por García Yebra, V. (1998). *Metafísica de Aristóteles. Libro X*. Madrid: Gredos.
- ASHRAE. (2001). *ASHRAE Handbook Fundamentals*.
- Atlas del agua de la república Mexicana. (1976). México D.F.: SARH.
- Balcomb, D. (1984). Passive and low energy research and development: a global view. *PLEA*, 2.
- Bojórquez, G., Gallegos, R., & Luna, A. (2000). Estudio de comportamiento térmico de tres prototipos de vivienda, para un clima desértico. En ANES/ISES, *Proceedings of the MILLENIUM SOLAR FORUM* (págs. 35-39). México D.F.
- Brenes, M., Gamboa, M., Páez, C., Ramírez, A., & Villafuerte, T. (s.f.). <http://www.cidse.itcr.ac.cr/revistamate/GeometriaInteractiva/IIICiclo/IIICiclo.htm>. Recuperado el 10 de 06 de 2007, de Enseñanza de la matemática asistida por computadora, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Bussagli, M. *Comprender la arquitectura. Atlas ilustrado de la arquitectura*. Madrid: Susaeta ediciones.
- Canales, M. M. (2003). Evaluación bioclimática de la vivienda de interés social: caso Pachuca, Hidalgo. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar 2003*.
- CFE. (2008). *Comisión Federal de Electricidad*. Recuperado el 2008 de 07 de 30, de <http://www.cfe.gob.mx>
- CFE. (2008). *Energía eléctrica en mi hogar... cómo se consume?*
- Chávez, F. (2005). Zona variable de confort térmico. En Memorias de COTEDI, *Confort y eficiencia energética en la arquitectura* (págs. 121-125). México, D.F.: Noriega Editores.
- CIE. (2007). *Evaluación Energética Integral para el Centro de las Artes*.
- Colquhoun, A. (2005). *La arquitectura moderna, una historia desapasionada*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- CCA, Comisión para la Cooperación Ambiental. (2008). *Edificación sustentable en América del Norte*. Quebec, Canadá.

CONAE. (2008). Recuperado el 15 de agosto de 2008, de http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/espacio_aparatos

CONAE. (1997). Anteproyecto de *NOM-020-ENER Eficiencia energética en edificaciones. Envoltante de edificios residenciales*. D.F., México.

CONAFOVI. (2006). *Guía para el uso eficiente de la energía en la vivienda*. México, D.F.

CONAFOVI. (2005). *Vivienda: Evidencia del Cambio*. México D.F.: FCE.

Coppola Pignatelli, P. (2004). *Análisis de los espacios que habitamos*. México, D.F.: Pax México.

Cruz, C. O., Castañeda, G., Argüello, T., Zebadúa, A., & Vecchia, F. (2004). Evaluación del comportamiento térmico de la vivienda tipo, según su orientación en el fracc. San José Yeguiste, Tuxtla Gutiérrez Chiapas. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar 2004*.

Díaz-Jiménez, R., & Morillón, D. (1999). Comportamiento termico de la vivienda de interés social en dierentes regiones climáticas del país. En ANES, *Memoria XXIII Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 143-147). Michoacán, Morelia.

Dorantes, R. (2006). El Estado del arte de las fuente renovables de energía en México: obstáculos y perspectivas. México D.F.: UAM.

Fernández, Z., & Estrada, V. (1983). *Cálculo de la radiación solar instantánea en la República Mexicana*. México D.F.

Ferreiro, H. (1991). Climatología. En R. Lacomba, *Manual de Arquitectura Solar*. México, D.F.: Trillas.

Figueroa, A., & Fuentes, V. (1989). *Criterios de adecuación bioclimática en la Arquitectura*. México, D.F.: I.M.S.S.

Fuentes, V. (2008). *Agrupación bioclimática de setecientas ciudades de la República Mexicana*. México, D.F.

Fuentes, V. Hoja de cálculo: *Análisis Climático*. México D.F.

Fuentes, V. (2004). *Clima y Arquitectura*. México D.F.: UAM, editorial nopase.

Fuentes, V. Hoja de cálculo: *Estimación de Datos Climáticos*. México, D.F.

Fuentes, V. (1999). Metodología de Diseño Bioclimático. Principios y aplicaciones. Confort natural. Fundamentos y aplicaciones. Estrategias de diseño bioclimático. En J. García, *Arquitectura, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*. México, D.F.: UAM.

Fuentes, V. (2007). *Notas del curso: Arquitectura Bioclimática. 31 Semana Nacional de Energía Solar*. Zacatecas, ANES.

García, J. R. (2001). La iluminación en la arquitectura. En M. Rodríguez V., *Introducción a la Arquitectura Bioclimática* (págs. 122-146). México D.F.: Limusa.

García, J. R., & Fuentes F., V. (2000). *Arquitectura y medio ambiente en la ciudad de México*. México D.F.: Sans Serif Editores.

García, J. R., & Fuentes F., V. (1995). *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*. México D.F.: Trillas.

Givoni, B. (1984). Well tempered and iluminated interiors. *PLEA*, 210-222.

- Glancey, J. (2001). *Historia de la Arquitectura*. México D.F.: Editorial Planeta Mexicana.
- Gobierno del Estado de Zacatecas. (1983). *Reglamento y Normas Técnicas para la Construcción en el Estado de Zacatecas*. Zacatecas.
- Gobierno del Estado de Zacatecas. (2005). *Enciclopedia de los Municipios de México. Estado de Zacatecas*. Recuperado el 10 de octubre de 2008 de, <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/zacatecas/municipios/32017a.htm>
- GonCalves, H., Camelo, Germano, Romero, & Dilonard. (1999). Large office buildings, what are the dominant parameters for energy consumption? *PLEA* , 65.
- González, M., & Mayorga, R. (2007). Morfología Geométrica de la envolvente arquitectónica como elemento de control térmico. *31 Semana Nacional de Energía Solar* , 155-160.
- Guyton, H. (2001). *Tratado de Fisiología Médica*. México, D.F.: Ed McGrawHill-Interamericana.
- Hernández H., E. (1984). Experiencias y potencial de las tecnologías ecológicas de climatización y sistemas pasivos en la vivienda de interés social en México - caso INFONAVIT-. *PLEA* .
- Hernández S., R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2003). *Metodología de la Investigación*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Hernández T., M. (1991). Bienestar térmico humano. En L. Ruth, *Manual de arquitectura solar* (págs. 21-30). México, D.F.: Trillas.
- Hernández H., E., Ceballos, H., Fernández, M., Bailey, A., Izunza, A., Salomón, A., et al. (1984). Tecnologías ecológicas para la vivienda en México, Monografía Regional. *PLEA* .
- Holman, J. (1990). *Métodos experimentales para ingenieros*. México, D.F.: Mc Graw Hill.
- Huerta, V. (2002). *Análisis del anteproyecto de Norma 020-ENER sobre eficiencia energética en edificaciones residenciales hasta tres niveles (Tesis de maestría)*. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. México.
- INEGI, C. d. (2005). <http://www.inegi.org.mx>. Recuperado el 26 de mayo de 2008
- IPCC. (2002). *Cambio climático y biodiversidad. Documento técnico V*.
- Jordan, S., & Krainer, A. (1997). Thermal bridges in cold climate zone. *PLEA* , 169.
- Klinkenborg, V. (2008). Nuestras Noches se esfuman. *National Geographic* , 2-21.
- Larouse. (2000). *El Pequeño Larouse Ilustrado*. Bogotá, Colombia: Larousse.
- López de Asiain, M. (2003). Estrategias Bioclimáticas en la arquitectura. *Acercamiento a Criterios Arquitectónicos Ambientales para Comunidades Aisladas en Áreas Naturales Protegidas de Chiapas* .
- Machado, Britto, & Neila. (1999). Thermal behaviour simulation of models with ecological roofs. *PLEA 99* , 611.
- Marincic, I., & Isalgué, A. (2000). Respuestas térmicas y su relación con la envolvente del edificio. En ANES/ISES, *Proceedings of the ISES MILLENNIUM SOLAR FORUM* (págs. 13-17). México, D.F.
- Marincic, I., & Ochoa, J. M. (2004). Análisis de los efectos de la utilización de nuevos materiales aislantes en viviendas en clima cálido seco. En A. N. Solar, *XXVIII Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 87-90). Oaxaca, Oaxaca.

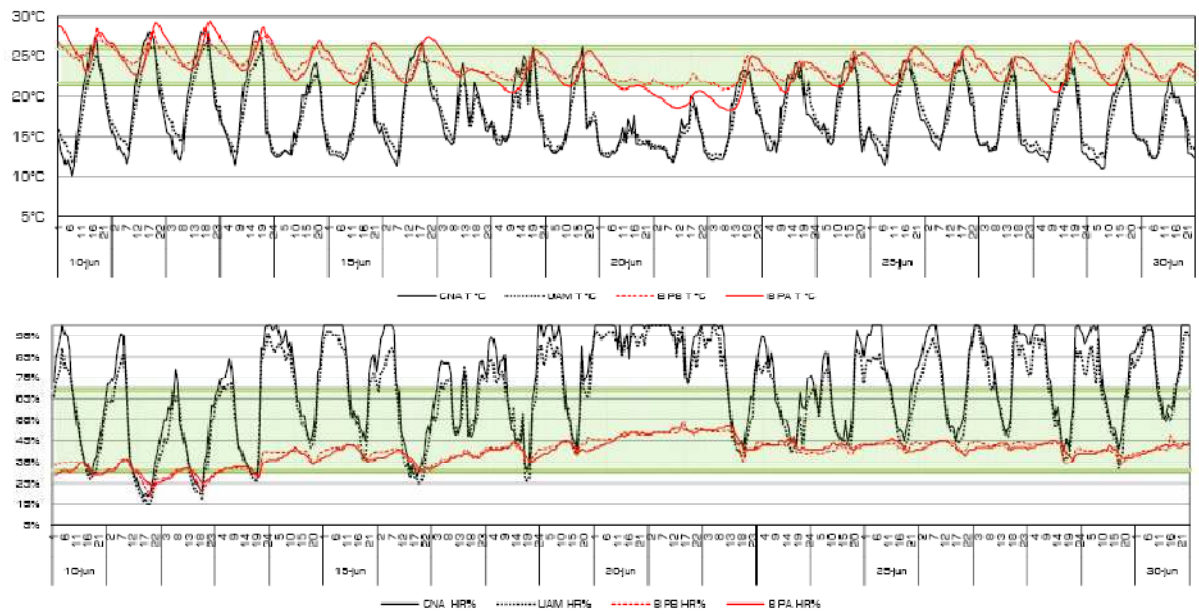
- Marincic, I., & Ochoa, J. M. (2001). Evaluación de un modelo prototípico de edificio educativo en clima cálido seco. En A. N. Solar, *Memoria Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 21-25). San Luis Potosí.
- Martínez, J. (1997). Recuperado el 10 de 06 de 2007, de <http://www.edicionsupc.es/ftppublic/pdfmostra/EC01305M.pdf>
- Mayorga, R., & Morales, D. (2003). El confort térmico del ser humano dentro de los edificios. Una visión holística. *Memorias Semana Nacional de Energía Solar* , 37-41.
- Mecott, S., Cano, J., Alavéz, R., Gallegos, R., Bojórquez, G., & Luna, A. (2007). Comportamiento térmico y diseño bioclimático de un prototipo de vivienda para Oaxaca, Oaxaca. *Memorias Semana Nacional de Energía Solar 2007* , 161-166.
- Mejía, D., Morillón, D., & Rodríguez V., L. (2001). Impacto de las protecciones solares en la disminución de la carga térmica de la vivienda tipo INFONAVIT. En Asociación Nacional de Energía Solar, *Memoria XXV Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 27-31). San Luis Potosí.
- Mercado, J. A., Mercado, L., & Ochoa, J. M. (2006). Evaluación térmica para una casa habitación con principios bioclimáticos en Hermosillo Sonora. *Memorias Semana Nacional de Energía Solar* , 133-137.
- Morales, D., Sámano, D., & Morillón, D. (2000). *Notas del curso de actualización en energía solar* . México D.F.: IIM-LES-UNAM.
- Morillón, D. (2002). *Introducción a los sistemas pasivos de enfriamiento*. Guadalajara.
- Morillón, D. (2000). Metodología para el diseño bioclimático. En A. N. International Solar Energy Society, *Proceedings of the ISES MILLENNIUM SOLAR FORUM* (págs. 1-6). México D.F.
- Morillón, D., López, M., & Rodríguez, L. (1999). Análisis comparativo de costos de construcción entre un diseño convencional y un diseño bioclimático. En *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 95-100). México, D.F.: ANES.
- Olgyay, V. (2006). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas, 4a edición*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- ONNCCE. (2008). *APROY-NMX-C-460-ONNCCE-2008*. México, D.F.
- Ortiz. (2007). *Marco Vitruvio Polión. Los diez Libros de la Arquitectura*. Madrid, España: Akal Ediciones.
- Pérez I., C. (2005). Los tratadistas de la arquitectura y el medio ambiente, Marco Lucio Vitruvio Polión. En R. Viqueira, *Estudios de Arquitectura Bioclimática* (págs. 21-31). México D.F.: Limusa.
- Pérez, J. B., Borbón, A. C., & Cubillas, L. (2004). Desempeño térmico de una vivienda de interés social en la ciudad de Hermosillo Sonora. En A. N. Solar, *XXVIII Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 81-85). Oaxaca, Oaxaca.
- Pérez, M., Salomón, J., & Lazcano, A. (2000). Diagnóstico y tratamiento para edificios saludables. En ANES/ISES, *Proceedings of the MILLENNIUM SOLAR FORUM* (págs. 19-23). México D.F.: ANES.
- Puppo, E., & Puppo, G. (1972). *Acondicionamiento Natural y Arquitectura*. Barcelona, España: Marcombo Boixareu Editores.
- Quadri, G. (14 de enero de 2009). (L. Curzio, Entrevistador)
- RAM. (21 de 05 de 2005). *RAM, Revista del aficionado a la meteorología*. Recuperado el 29 de 07 de 08, de <http://www.meteored.com/ram/2002/el-psicrhelado-y-ii/>

- Reséndiz, O., Poujol, F., Flores, A., Velásquez, M., & Soria, I. (2003). Análisis financiero y de confort de dos viviendas de interés social. En A. N. Solar, *Memoria XXVII Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 43-47). Chihuahua. Chihuahua.
- Rodríguez, M. (2001). *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*. México D.F.: Limusa, Noriega Editores.
- Rodríguez, M. (2005). Los cuatro elementos de la arquitectura. En M. Rodríguez V., *Estudios de arquitectura bioclimática* (págs. 9-20). México, D.F.: Limusa.
- Romero, R., Bojórquez, G., Gallegos, R., Vázquez, E., Corral, M., & Luna, A. (2005). Proyecto interinstitucional de investigación aplicada en confort térmico y ahorro de energía en la vivienda. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar 2005*, 73-78.
- Rosas, J., & Morillón, D. (2006). Consumo y potencial de ahorro de energía eléctrica de los sistemas de climatización en el sector residencial: caso región noroeste de México. En M. Rodríguez V., *Estudios de Arquitectura Bioclimática, Anuario 2006* (págs. 93-102). México, D.F.: UAM.
- SENER. (2006). *Balance Nacional de Energía*. México, D. F.
<http://www.energía.gob.mx>
- Souza, & Montanari. (1999). Architecture and energy consumption: the study of two residential buildings in Bauru SP Brazil. *PLEA*.
- Suárez. (2002). *Costo y tiempo en edificación*. México D.F.: Limusa.
- Szokolay, S. (1980). *Environmental Science Handbook*. Lancaster, England: The Construction Press.
- Szokolay, S. (1984). Passive and low energy design for thermal and visual comfort. *PLEA 1984*.
- Tappuni, R., & Mehdi, S. (1984). A descriptive model for the environmental form of the building. *PLEA*, 889.
- United Nations. (29 de enero de 2003). *Division for sustainable development*. Recuperado el 17 de mayo de 2009, de <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21spchapter17.htm>
- Vázquez, E., Luna, A., & Ochoa, J. M. (2004). Estudio de asoleamiento de ventanas en edificaciones de uso habitacional en Mexicali. Bases técnicas para la revisión del reglamento municipal de edificaciones. Parte 2. En A. N. Solar, *XXVIII Semana Nacional de Energía Solar* (págs. 43-47). Oaxaca, Oaxaca.
- Vega, H., Manzanares, E., Hernández, V., Mercado, G., Álvarez, A., Salas, M., et al. (2008). Situación de los energéticos en México. *31 Semana Nacional de Energía Solar*, 325-328.
- Velasco, A., & Méndez, M. (2001). Análisis bioclimático de la vivienda de interés social. *Memorias de la Semana Nacional de Energía Solar 2001*.
- VITRO. (2002). Recuperado el 09 de 10 de 2008, de http://www.vitro.com/vidrio_plano_arquitectonico/espanol/Biblioteca_1590_4.htm
- Yeang, K. (1999). The ecological (or green) approach to design. *PLEA*, 1.

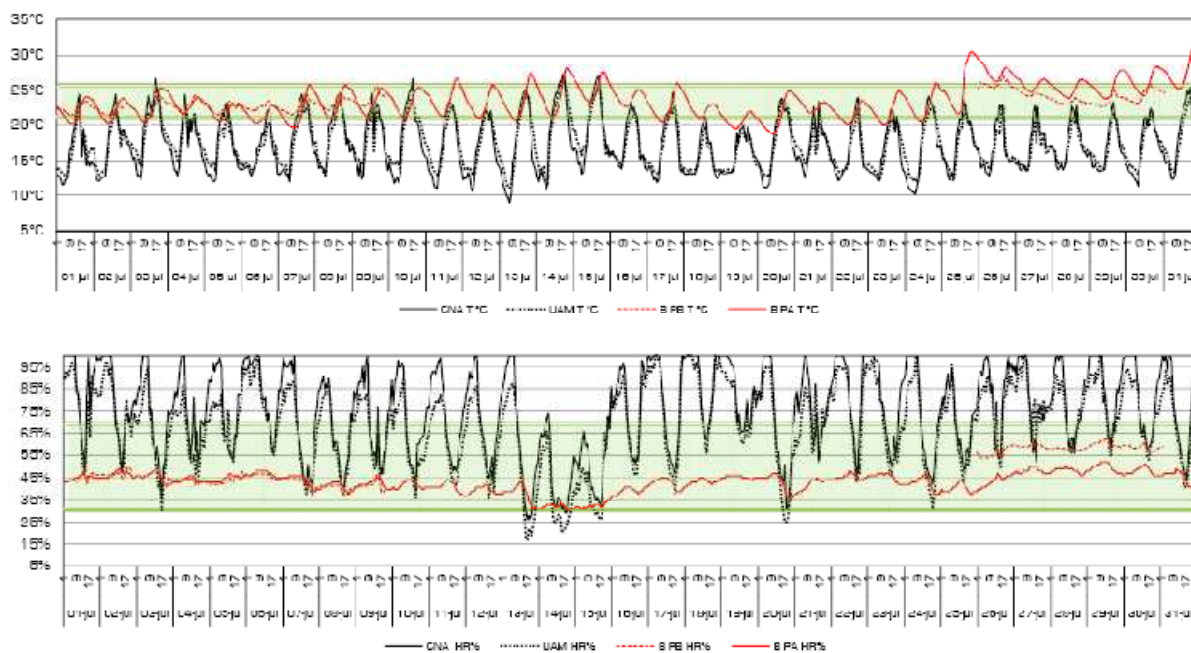
ANEXOS

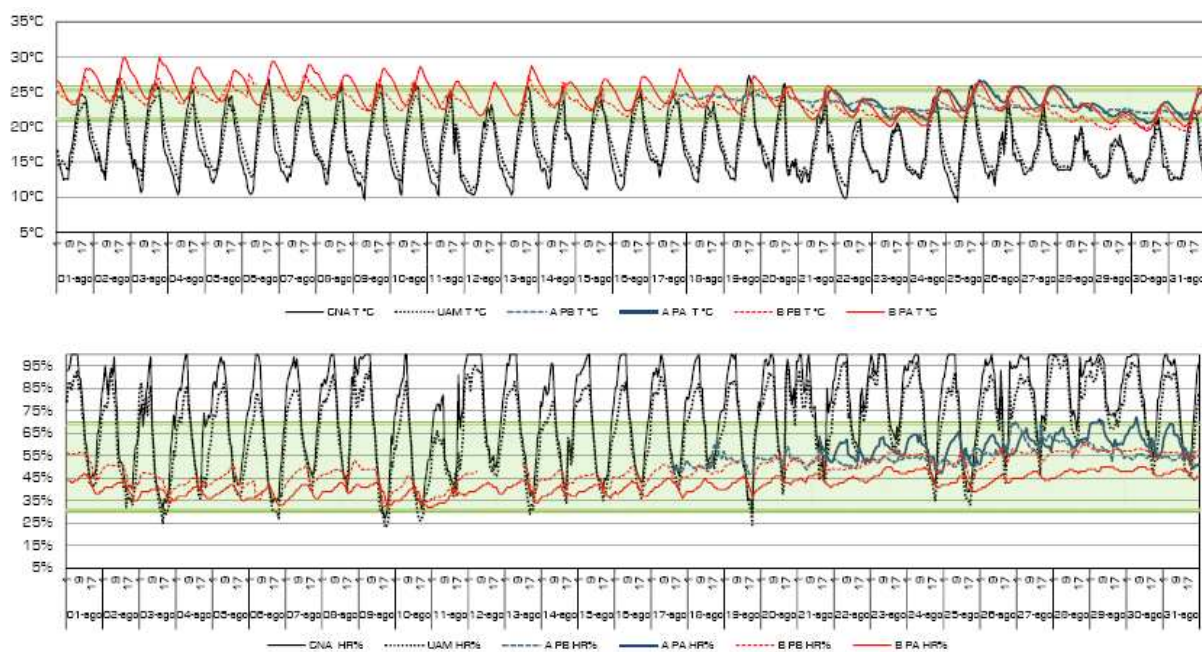
Como anexos de este trabajo se integran las gráficas mensuales de temperatura y humedad relativa de los días monitoreados para esta investigación. Se presentan los meses de junio 2007 a febrero 2008. La simbología utilizada en las gráficas es la misma de las anteriores: en la parte superior las gráficas de temperatura y en la parte inferior las gráficas de humedad relativa. En color azul la vivienda A, en color rojo la vivienda B, en línea punteada la planta baja, en línea continua la planta alta. La zona de confort se representa con una franja verde.

Así mismo, se incluyen tres tablas con los inventarios de los electrodomésticos y luminarias correspondientes a la auditoría energética de la vivienda A y posteriormente las dos auditorías energéticas de la vivienda B.

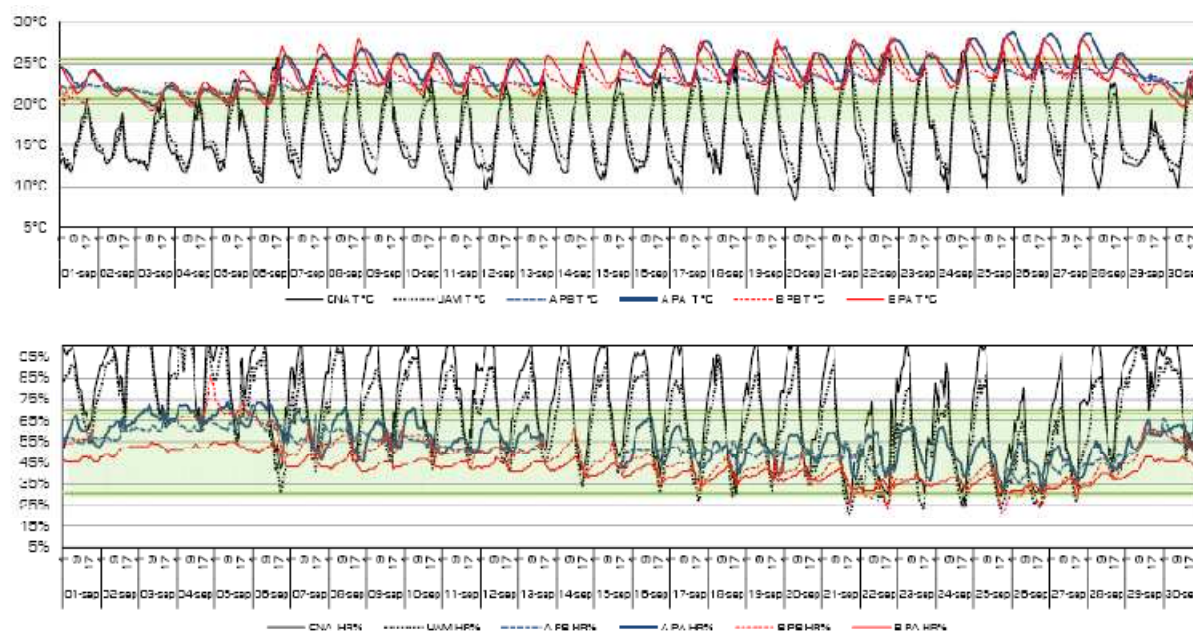


Gráfica 55. Temperatura y humedad relativa mensual. Junio 2007

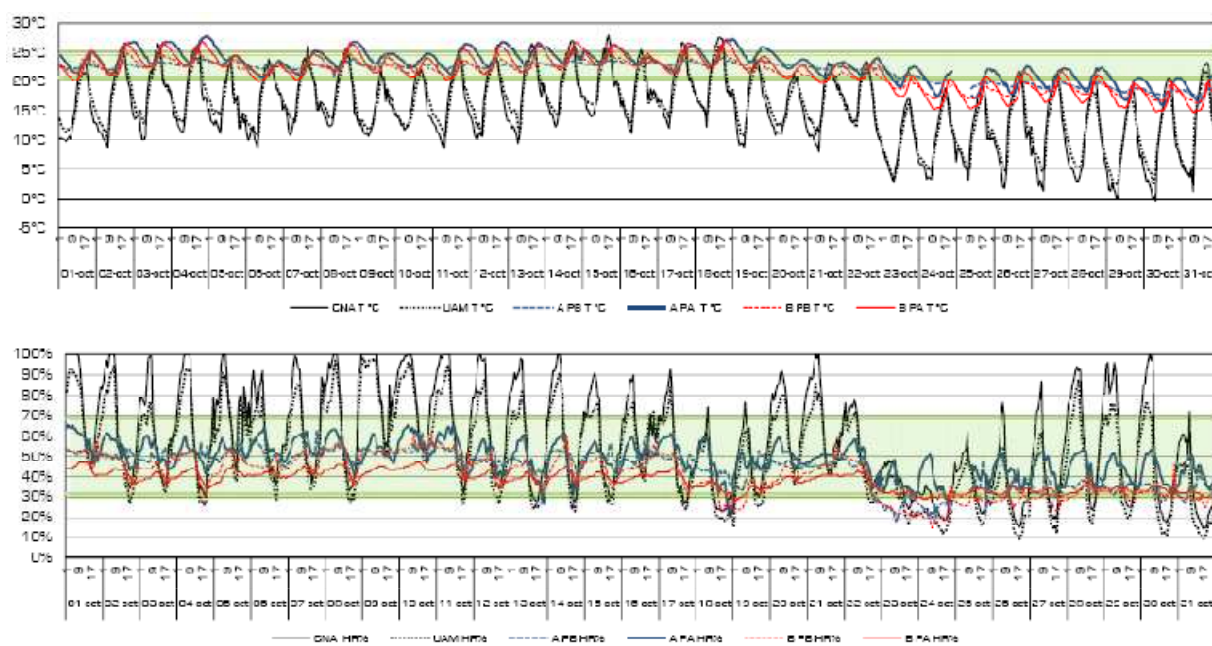




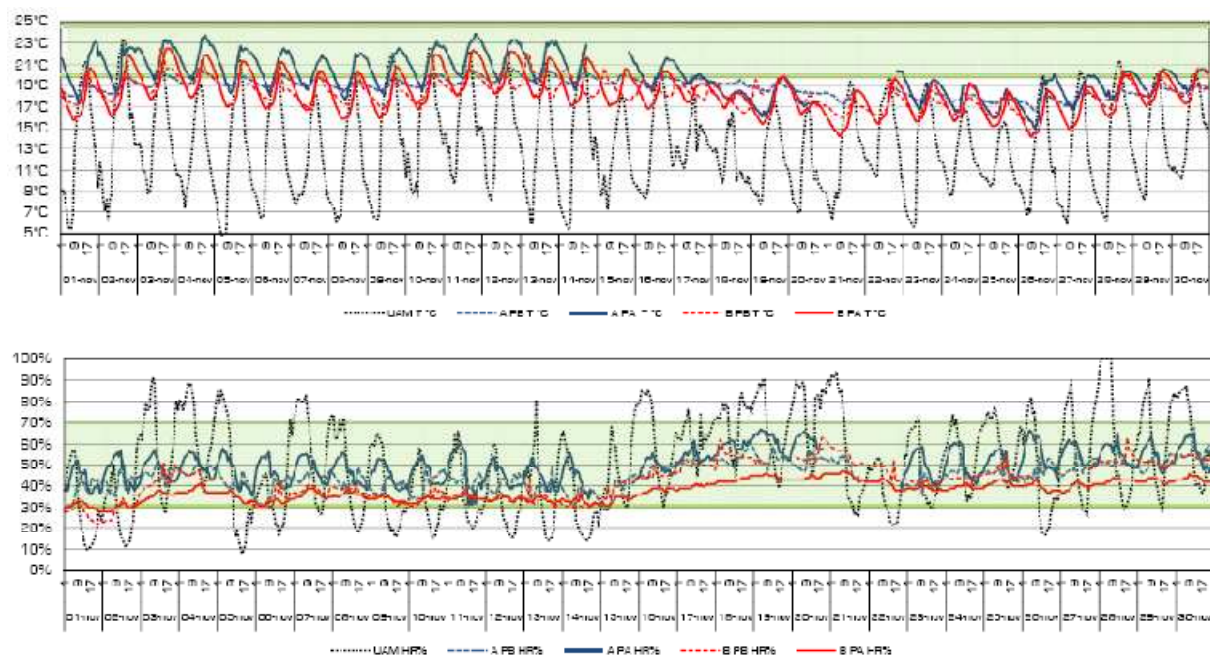
Gráfica 57. Temperatura y humedad relativa mensual. Agosto 2007



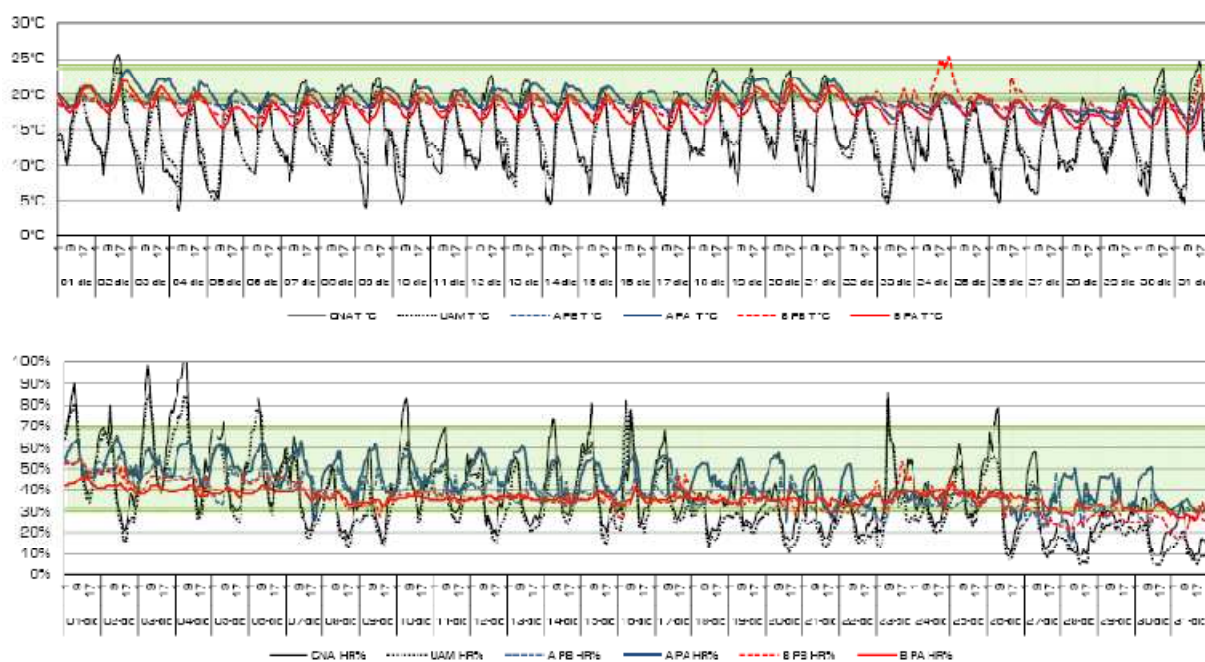
Gráfica 58. Temperatura y humedad relativa mensual. Septiembre 2007



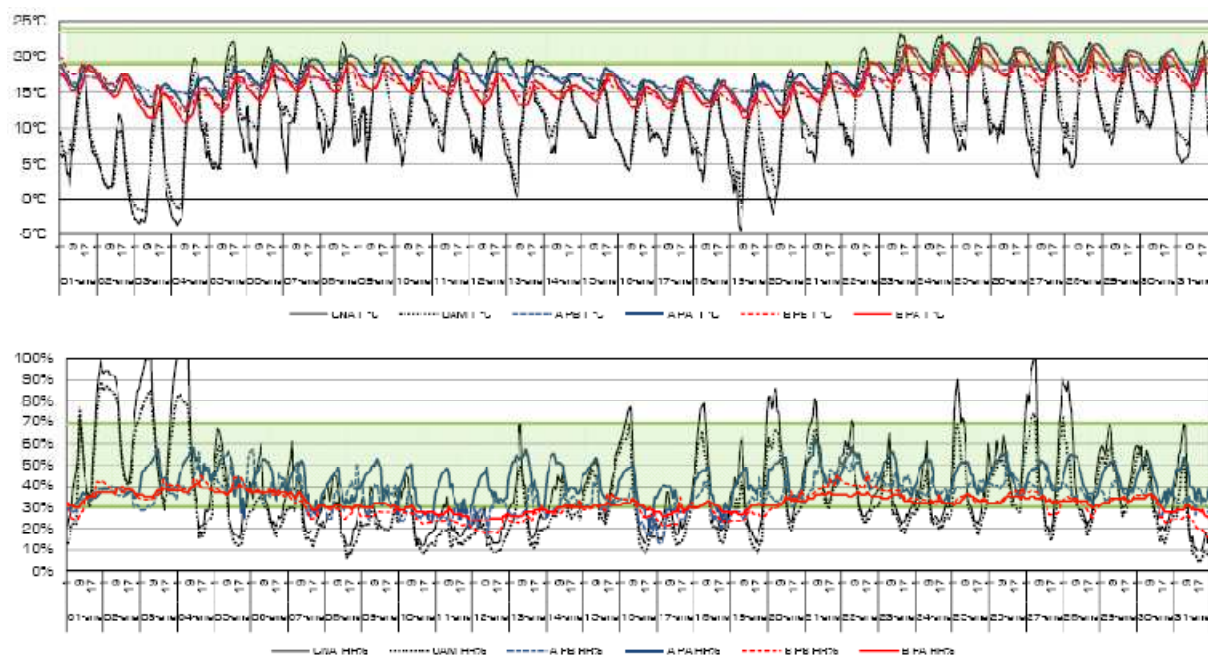
Gráfica 59. Temperatura y humedad relativa mensual. Octubre 2007



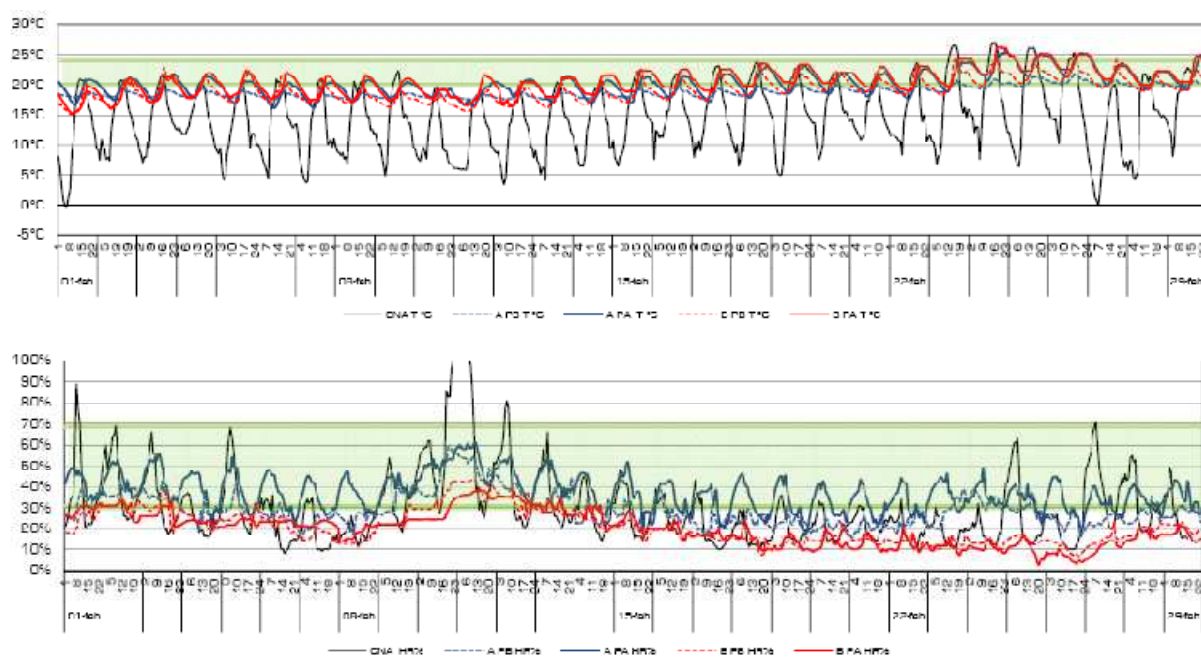
Gráfica 60. Temperatura y humedad relativa mensual. Noviembre 2007



Gráfica 61. Temperatura y humedad relativa mensual. Diciembre 2007



Gráfica 62. Temperatura y humedad relativa mensual. Enero 2008



Gráfica 63. Temperatura y humedad relativa mensual. Febrero 2008

	CONCEPTO	POTENCIA watts	TIEMPO DE USO horas				CONSUMO BIMESTRE	
			Día	Sem	Mes	Bim	(kWh)	%
ELECTRODOMÉSTICOS	Bomba de agua	746	1			60	44.76	7.41%
	Cargador celular (5)	15		20		160	2.40	0.40%
	Computadora 1	300	2			120	36.00	5.96%
	Computadora 2	300	4			240	72.00	11.93%
	DVD	25			4	8	0.20	0.03%
	Equipo sky	25	3			180	4.50	0.75%
	Filtro agua	60	0.08			4.8	0.29	0.05%
	Grabadora 1	25	1			60	1.50	0.25%
	Grabadora 2	20	3			180	3.60	0.60%
	Home theatre	185		4		32	5.92	0.98%
	Laptop 1	64		3		24	1.54	0.25%
	Laptop 2	64		3		24	1.54	0.25%
	Lavadora	500		3		24	12.00	1.99%
	Licuadora	360	0.08			4.8	1.73	0.29%
	Microondas	1000	0.17			10.2	10.20	1.69%
	Plancha ropa	1570		0.5		4	6.28	1.04%
	Plancha cabello	163	0.33			19.8	3.23	0.53%
	Portón eléctrico	75	0.1			6	0.45	0.07%
	Refrigerador	720	4.8			288	207.36	34.35%
	Secadora de cabello	1875	0.33			19.8	37.13	6.15%
	Teléfono	5	0.33			19.8	0.10	0.02%
	Televisión	180	3			180	32.40	5.37%
ILUMINACIÓN	Baño	40	0.67			40.2	1.61	0.27%
	Baño principal	90	0.5			30	2.70	0.45%
	Cocina	150	2			120	18.00	2.98%
	Comedor	159	1.5			90	14.31	2.37%
	Cuarto lavado	9	0.33			19.8	0.18	0.03%
	Escalera	50	1.33			79.8	3.99	0.66%
	Estudio	50	1.5			90	4.50	0.75%
	Recámara Olivia	60	3			180	10.80	1.79%
	Recámara Posterior	66	4			240	15.84	2.62%
	Recámara Principal	78	4			240	18.72	3.10%
	Recibidor	150	0.75			45	6.75	1.12%
	Sala	165		3		24	3.96	0.66%
	Sanitario	90	0.33			19.8	1.78	0.30%
	Vestíbulo planta alta	50	0.33			19.8	0.99	0.16%
	Exterior frente	78	3			180	14.04	2.33%
	Exterior posterior	200		0.25		2	0.40	0.07%
CONSUMO TOTAL BIMESTRAL (kWh)							603.68	100.00%

Tabla 43. Auditoría energética vivienda A

CONCEPTO		POTENCIA watts	TIEMPO DE USO Horas				CONSUMO BIMESTRE	
			Día	Sem	Mes	Bim	(kWh)	%
ELECTRODOMÉSTICOS	Aspiradora	1524		0.67		5.36	8.17	2.06%
	Batidora	100			0.17	0.34	0.03	0.01%
	Bomba de agua	373			0.17	0.34	0.13	0.03%
	Cargador celular (5)	15		100		800	12.00	3.02%
	Computadora	300	2			120	36.00	9.07%
	DVD	60			4	8	0.48	0.12%
	Equipo sky	25	3			180	4.50	1.13%
	Estación climatológica	5	24			1440	7.20	1.81%
	Estéreo	105		1		8	0.84	0.21%
	Grabadora 1	20	1.5			90	1.80	0.45%
	Impresora 1	40		0.17		1.36	0.05	0.01%
	Impresora 2	220		0.17		1.36	0.30	0.08%
	Karaoke	25			2	4	0.10	0.03%
	Laptop	120	1			60	7.20	1.81%
	Lavadora	500	1			60	30.00	7.56%
	Licuadora	375	0.17			10.2	3.83	0.96%
	Microondas	1000	0.12			7.2	7.20	1.81%
	Órgano	120		3		24	2.88	0.73%
	Procesador de alimentos	250			0.17	0.34	0.09	0.02%
	Plancha	1200		1		8	9.60	2.42%
	Podadora eléctrica	420		0.33		2.64	1.11	0.28%
	Refrigerador	140	6			360	50.40	12.70%
	Reloj	4	24			1440	5.76	1.45%
	Sandwichera	720		0.17		1.36	0.98	0.25%
	Secadora de cabello	1875	0.33			19.8	37.13	9.35%
	Secadora de ropa	5600		2		16	89.60	22.57%
	Teclado musical	7.7		3		24	0.18	0.05%
	Teléfono	5	0.33			19.8	0.10	0.02%
	Televisión 1	180	2			120	21.60	5.44%
	Televisión 2	52		1.5		12	0.62	0.16%
	Televisión 3	120	1.5			90	10.80	2.72%
	Televisión 4	100			2	4	0.40	0.10%
ILUMINACIÓN	Baño	65	1			60	3.90	0.98%
	Cocina	89	1.5			90	8.01	2.02%
	Comedor	160		1		8	1.28	0.32%
	Consultorio	150		0.5		4	0.60	0.15%
	Cuarto de lavado	9	0.17			10.2	0.09	0.02%
	Desayunador	23	3			180	4.14	1.04%
	Escalera	44	0.67			40.2	1.77	0.45%
	Recámara 1 (Este)	43	1.5			90	3.87	0.98%
	Recámara 2 (Oeste)	9		2		16	0.14	0.04%
	Recámara principal	56	2			120	6.72	1.69%

Recibidor	20	1		60	1.20	0.30%
Sala	160		1	8	1.28	0.32%
Sala 2	320		3	24	7.68	1.93%
Sala de TV	32	1.5		90	2.88	0.73%
Sanitario	46	0.33		19.8	0.91	0.23%
Balcón	13	0.5		30	0.39	0.10%
Cochera	26	0.15		9	0.23	0.06%
Exterior sala 2	15		4	32	0.48	0.12%
Terraza posterior	65		0.5	4	0.26	0.07%
CONSUMO TOTAL BIMESTRAL (kWh)					396.91	100.00%

Tabla 44. Auditoría energética vivienda B. Periodo marzo a octubre

	CONCEPTO	POTENCIA watts	TIEMPO DE USO Horas				CONSUMO BIMESTRE	
			Día	Sem	Mes	Bim	(kWh)	%
ELECTRODOMÉSTICOS	Aspiradora	1524		0.67		5.36	8.17	1.24%
	Batidora	100			0.17	0.34	0.03	0.01%
	Bomba de agua	373			0.17	0.34	0.13	0.02%
	Cafetera	910		0.25		2	1.82	0.28%
	Calentador 1	795				196	156.02	23.68%
	Calentador 2	779				74.2	57.80	8.77%
	Cobija eléctrica	97				237	22.87	3.47%
	Cargador celular (5)	15		100		800	12.00	1.82%
	Cargador pilas	6		24		192	1.15	0.17%
	Computadora	300	2			120	36.00	5.47%
	DVD	60			4	8	0.48	0.07%
	Equipo sky	25	3			180	4.50	0.68%
	Estación climatológica	5	24			1440	7.20	1.09%
	Estéreo	105		1		8	0.84	0.13%
	Grabadora 1	20	1.5			90	1.80	0.27%
	Impresora 1	40		0.17		1.36	0.05	0.01%
	Impresora 2	220		0.17		1.36	0.30	0.05%
	Karaoke	25			1	2	0.05	0.01%
	Laptop	120	1			60	7.20	1.09%
	Lavadora	500	1			60	30.00	4.55%
	Licuadora	375	0.17			10.2	3.83	0.58%
	Microondas	1000	0.12			7.2	7.20	1.09%
	Órgano	120		3		24	2.88	0.44%

ILUMINACIÓN	Procesador de alimentos	250			0.17	0.34	0.09	0.01%
	Plancha	1200		1		8	9.60	1.46%
	Podadora eléctrica	420		0.33		2.64	1.11	0.17%
	Refrigerador	140	6			360	50.40	7.65%
	Reloj	4	24			1440	5.76	0.87%
	Sandwichera	720		0.17		1.36	0.98	0.15%
	Secadora de cabello	1875	0.33			19.8	37.13	5.64%
	Secadora de ropa	5600		2.5		20	112.00	17.00%
	Teclado musical	7.7		3		24	0.18	0.03%
	Teléfono	5	0.33			19.8	0.10	0.02%
	Televisión 1	180	2			120	21.60	3.28%
	Televisión 2	52		1.5		12	0.62	0.09%
	Televisión 3	120	1.5			90	10.80	1.64%
	Televisión 4	100			1	2	0.20	0.03%
	Baño	65	1			60	3.90	0.59%
	Cocina	89	1.5			90	8.01	1.22%
	Comedor	160		1		8	1.28	0.19%
	Consultorio	150		0.5		4	0.60	0.09%
	Cuarto de lavado	9	0.17			10.2	0.09	0.01%
	Desayunador	23	3			180	4.14	0.63%
	Escalera	44	0.67			40.2	1.77	0.27%
	Recámara 1 (Este)	43	1.5			90	3.87	0.59%
	Recámara 2 (Oeste)	9		2		16	0.14	0.02%
	Recámara principal	56	2			120	6.72	1.02%
	Recibidor	20	1			60	1.20	0.18%
	Sala	160		1		8	1.28	0.19%
	Sala 2	320		3		24	7.68	1.17%
	Sala de TV	32	1.5			90	2.88	0.44%
	Sanitario	46	0.33			19.8	0.91	0.14%
	Balcón	13	0.5			30	0.39	0.06%
	Cochera	26	0.15			9	0.23	0.04%
	Exterior sala 2	15		4		32	0.48	0.07%
	Terraza posterior	65		0.5		4	0.26	0.04%
	CONSUMO TOTAL BIMESTRAL (kWh)						658.73	100.00%

Tabla 45. Auditoría energética vivienda B. Periodo noviembre a febrero

CURRICULUM VITAE

Mi nombre es Ana Julieta Acuña Valerio, nací en 1982, soy de la ciudad de Zacatecas. Estudié la licenciatura en arquitectura en el Instituto Tecnológico de Zacatecas, generación 2000-2005. Durante este periodo, realicé mi servicio social en la Junta de Protección y Conservación de Monumentos y Zonas Típicas del Estado de Zacatecas elaborando un "Diagnóstico y diseño de mobiliario urbano para el centro histórico de la ciudad de Zacatecas". Hice la residencia profesional en la Presidencia Municipal de Zacatecas con el proyecto arquitectónico "Centro Parroquial Sagrada Familia", mismo con el que obtuve el título de arquitecta. Como estudiante, logré el primer lugar estatal en el "Segundo Concurso Regional de Diseño de Espacios Educativos" convocado por CAPFCE en 2004.

Cursé la Especialidad y Maestría en Diseño, con línea de Arquitectura Bioclimática en la Universidad Autónoma Metropolitana de la ciudad de México. Fui acreedora a la Medalla al Mérito Universitario 2008.

Mi interés en el diseño arquitectónico me ha llevado y permitido colaborar en despachos y proyectos como: Arquide en la ciudad de México participando en el diseño del jardín ecológico escolar de "Lagunas Oaxaca" el cual se encuentra en construcción; en 2007 me asocié para fundar ECO Arquitectura en la ciudad de Zacatecas con el objetivo de diseñar y construir proyectos arquitectónicos y urbanos con compromiso ecológico. Actualmente trabajo en Arditti + RDT Arquitectos en la Ciudad de México, donde colaboro en el proyecto: "Ciudad Gobierno Zacatecas".

Artículos publicados en la Semana Nacional de Energía Solar: "Prototipo de vivienda bioclimática de interés social para un clima semifrío seco: caso Zacatecas, Zac." (2007), "Programa para predimensionamiento de sistemas de colectores solares" (2007) y "Estudio comparativo de una vivienda con principios bioclimáticos y una vivienda convencional. Caso de estudio: Ciudad de Guadalupe, Zacatecas" (2008). Colaboré en trabajos de investigación como: "Determinación de las condiciones de confort higrotérmico y su modificación con respecto al flujo de aire en condiciones de laboratorio controladas" (Estudios de Arquitectura Bioclimática, Anuario 2007) y "Percepción de las condiciones de confort higrotérmico en relación con el flujo de aire en la cámara de ambiente controlado" (ANES 2007).