

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE
VIVIENDA INAVI MODELO CUJISAL**

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs.: Guzmán V., Karina D.
Moreno R., José E.
Para optar al Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDA INAVI MODELO CUJISAL

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Geovanni Siem.

Co-TUTOR: Prof. Julio Segura.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por los Brs.: Guzmán V., Karina D.
Moreno R., José E.
Para optar al Título de
Ingeniero Mecánico

Caracas, 2010



Caracas, 14 de mayo de 2.010

ACTA

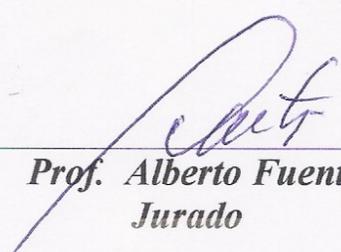
Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres:

GUZMAN KARINA y MORENO JOSE

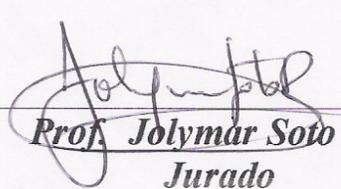
Titulado:

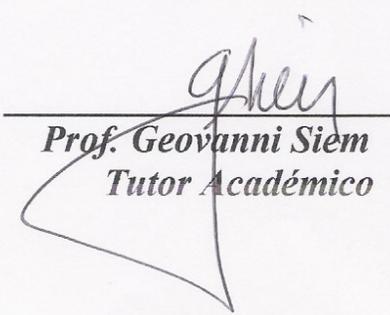
**“EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO TERMICO DE VIVIENDA INAVI
MODELO CUJISAL”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al Título de Ingeniero Mecánico.


Prof. Alberto Fuentes.
Jurado




Prof. Jolymar Soto
Jurado


Prof. Geovanni Siem
Tutor Académico


Prof. Julio Segura
Co-Tutor

Dedicatoria

A mis hermanas fuente de inspiración en diferentes facetas de la vida, Joa tu constancia y tesón me has enseñado que todo en esta vida se puede alcanzar. Mariel la luz de todos los caminos, personas como tú hacen a otras querer amar. Katy me recordaste lo que significa querer algo realmente y cuanto se lucha por alcanzarlo, a mi Paty me devolviste el agradecimiento y la alegría por la vida. Las amo.

A mis madres, Abuelita soy lo que me enseñaste, Mamá, la súper mujer luchadora y trabajadora, me has enseñado responsabilidad y constancia, mi ejemplo a seguir.

Papi...gracias por todo. Se que allá arriba estas súper feliz, extrañándote y amándote por siempre.

A mis Tíos y mi Tía, por colocar sus títulos de la UCV e inspirarme a seguir ese camino, para ustedes uu...ucv.

A mis primos Luís y Cesar por darme el valor para seguir adelante, los quiero mucho.

A mi prima Andreina, por ser quien eres por estar allí, por hacer que cada día quisiera mucho más, te quiero muchísimo primita.

A mis amigos, a Rafa, a Yuly y Gaby por todas esas horas de “estudio”.

A José mi colega, mi compañero, mi mejor amigo y mi gran amor, estoy orgullosa de ti, por ser la persona y el gran hombre que eres

A mi pequeñita Samy es para ti, la vida es cuesta arriba pero la vista es maravillosa.

A todos los que han formado parte de mi vida por enseñarme algo y por dejarme enseñar, los amo a todos.

Karina

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi hermano Juan Francisco por ser uno de mis motivos mas importantes por los cuales pienso y me animo a seguir adelante a mi mama Marvia, y a mis padres José y Juan por ayudarme a ser la persona que soy hoy día, a mis abuelas y especialmente a mi novia Karina con quien he logrado superar mis mas grandes obstáculos y sin olvidar a todos mis grandes amigos.

Gracias y más Gracias

José

Agradecimientos

*A Dios por darnos la fuerza para alcanzar nuestras metas
A la Universidad Central de Venezuela, casa que vence las sombras en conjunto con
los Profesores de la Facultad de Ingeniería forja Ingenieros.*

Al IDEC por la colaboración en la realización de este proyecto.

*A nuestro Tutor y Co-Tutor Geovanni Siem y Julio Segura por guiarnos durante
todo el proceso de elaboración.*

*A la Profesora María Eugenia Sosa por todos los consejos sobre arquitectura y
confort Térmico.*

MUCHAS GRACIAS A TODOS.

Guzmán V., Karina D. y Moreno R., José E.

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE VIVIENDAS DEL INAVI MODELO CUJISAL

**Tutor Académico: Prof. Geovanni Siem. Co-Tutor: Prof. Julio Segura. Tesis.
Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2010.**

163 Pág.

Palabras Clave: Comportamiento térmico, régimen permanente, balance térmico, temperatura interna, confort térmico.

El objetivo del presente trabajo fue el de evaluar el comportamiento térmico de una vivienda del INAVI (Instituto Nacional de la vivienda) modelo Cujisal, concebidas para funcionar bajo sistemas de climatización pasiva. Para alcanzar el objetivo planteado se utilizaron tres métodos para establecer el comportamiento térmico dentro de esta edificación, en el primero se realizaron cálculos en régimen permanente con las dimensiones de la vivienda modelo cujisal y la data climatológica de la zona, con el balance térmico igualado en cero se establece la temperatura interna de la vivienda. Luego se realizaron mediciones *in situ*, donde se colocaron equipos con los cuales se obtuvieron lecturas de temperaturas y humedad relativa de diferentes zonas de la casa, por último se realizó mediante el uso de una herramienta computacional Ecotect™ un conjunto de simulaciones en donde se variaron diferentes parámetros de diseño como, orientación, materiales constructivo y tamaño de las aberturas obteniendo el comportamiento térmico resultante con el modelo original y las diferencias de este con los parámetros de diseño que fueron variados. Las temperaturas internas obtenidas con los tres métodos utilizados fueron comparadas con la finalidad de establecer la confiabilidad de los resultados obtenidos. Utilizando el modelo de adaptación como índice de confort térmico, se establece que en general el comportamiento térmico de la vivienda INAVI, modelo

Cujisal se encuentra dentro de la banda de confort calculada para la zona climática donde está ubicada la vivienda.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo I. PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA	
Justificación del Problema	5
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
Antecedentes	7
Capítulo II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	
2.1 Clima	9
2.1.1 Aspectos globales del clima (Macroclima)	9
2.1.1.1 Radiación solar	9
2.1.1.2 Temperatura	11
2.1.1.3 Presión	11
2.1.1.4 Humedad	12
2.1.1.5 Nubosidad y precipitación	12
2.1.1.6 Viento	12
2.1.2 Factores del clima (Microclima)	13
2.1.2.1 La altitud	13
2.1.2.2 La latitud	14
2.1.2.3 La topografía o relieve	14
2.1.2.4 El entorno urbano	14
2.1.2.5 Presencia de masas de agua	15
2.1.2.6 La vegetación	15
2.1.3 Datos climáticos	16
2.1.3.1 La radiación solar	16
2.1.3.2 La Temperatura del aire	16
2.1.3.3 La humedad	17
2.1.3.4 La temperatura + humedad	17

2.1.3.5	El viento	18
2.1.3.6	La pluviosidad	19
2.1.3.7	La nubosidad	19
2.1.4	Características generales del clima en Venezuela	19
2.1.4.1	Clasificación de climas en Venezuela	20
2.1.5	Características del clima en el Estado Carabobo	22
2.2	Confort Térmico	23
2.2.1	Parámetros que afectan el confort térmico	24
2.2.1.1	Parámetros físicos	24
2.2.1.1.1	Temperatura del aire	24
2.2.1.1.2	Humedad del aire	25
2.2.1.1.3	Velocidad del aire	26
2.2.1.1.4	Entorno radiante	28
2.2.1.2	Parámetros circunstanciales	29
2.2.1.3	Parámetros fisiológicos	30
2.2.1.4	Parámetros psicológicos y sociológicos	31
2.2.2	Temperatura Operativa	31
2.2.3	Índices de confort	33
2.2.3.1	Temperatura Efectiva Estándar (TES)	33
2.2.3.2	Índice PMV o Índice de Fanger	35
2.2.3.3	Modelos de adaptación	37
2.3	Transferencia de calor	40
2.3.1	Conducción	41
2.3.2	Convección	42
2.3.2.1	Capa límite	42
2.3.3	Radiación	44
2.4	Modos de intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente	46
2.4.1	Producción de calor interno	47
2.4.2	Balance térmico del cuerpo humano	48

2.4.2.1	Perdidas y ganancias de calor del cuerpo humano al ambiente	50
2.4.3	Balance Térmico del cuerpo humano	51
2.4.3.1	Perdidas por radiación	51
2.4.3.2	Perdidas por convección	52
2.4.3.3	Perdidas por evaporación	53
2.4.3.3.1	Por respiración	53
2.4.3.3.2	Por perspiración	53
2.4.3.3.3	Por sudoración	54
2.5	Transferencia de calor en edificaciones	55
2.5.1	Intercambios térmicos con la envolvente	55
2.5.1.1	Intercambios de radiación electromagnética entre la envolvente y su entorno	56
2.5.1.2	Intercambios convectivos entre la envolvente y el aire	58
2.5.1.3	Intercambios radiativos de onda larga combinados con los intercambios convectivos	59
2.5.1.4	Intercambios radiativos de onda larga + intercambios convectivos + intercambios radiativos de onda corta	60
2.5.1.5	Intercambios conductivos entre la envolvente y otros cuerpos	61
2.5.2	Propagación del calor al interior por un componente de la envolvente	61
2.5.3	Flujo de calor que atraviesa un cerramiento	62
2.5.4	Resistencia térmica de cámaras de aire	64
2.5.5	Intercambios de calor por ventilación	66
2.5.6	Balance Térmico de una edificación	67
2.6	Comportamiento de la envolvente ante las variaciones climáticas	69
2.7	Inercia Térmica	72

2.8	Diseño Pasivo	74
2.8.1	Principios importantes para el diseño pasivo	74
2.8.2	Técnicas de diseño de edificaciones energéticamente eficiente	75
2.8.3	Enfriamiento pasivo	76
2.9	Habitabilidad y sustentabilidad	77
2.9.1	Definición de habitabilidad	77
2.9.1.2	Requerimientos de la habitabilidad	78
2.9.2	Sustentabilidad	78
Capítulo III. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL		
3.1	Tipo de investigación	81
3.2	Diseño de la investigación	81
3.3	Población y muestra	83
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	84
3.4.1	Instrumentos	84
3.4.2	Técnicas de recolección de datos	85
3.5	Mediciones in situ	87
3.5.1	Selección de vivienda modelo	87
3.5.2	Caracterización de vivienda modelo	88
3.5.3	Instalación de equipos de medición	89
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de resultados	89
3.6.1	Cálculos de transferencia de calor en estado estable o permanente	90
3.6.1.1	Balance térmico en edificaciones	92
3.6.1.1.1	Cálculo de transferencia de calor en techos	93
3.6.1.1.1.1	Intercambios de calor radiativos de onda corta. Cálculo de temperatura sol-aire	93
3.6.1.1.1.2	Cálculo de transferencia de calor por conducción, convección y radiación en techos	94
3.6.1.1.2	Cálculo de transferencia de calor en paredes	96

3.6.1.1.2.1	Cálculo de la Temperatura sol-aire	96
3.6.1.1.2.2	Cálculo de transferencia de calor por conducción, convección y radiación en paredes	97
3.6.1.1.3	Transferencia de calor por transmisión	99
3.6.1.1.4	Transferencia de calor por ocupantes	100
3.6.1.1.5	Transferencia de calor por ventilación	102
3.6.1.1.5.1	Cálculo de flujo másico	103
3.7	Simulación (Herramienta computacional Ecotect™)	104
3.7.1	Crear zona térmica	108
3.7.2	Crear el techo	109
3.7.3	Crear partición	110
3.7.4	Selección de materiales constructivos	112
3.7.5	Cálculo de propiedades térmicas	112
3.8	Banda de confort	114
Capítulo IV RESULTADOS Y ANALISIS		
4.1	Estado estable o permanente	115
4.2	Mediciones in situ	116
4.3	Simulación (Herramienta computacional Ecotect™)	121
4.3.1	Evaluación de temperatura interior.	118
4.3.2	Ganancias y pérdidas de calor.	124
4.3.3	Ganancias y pérdidas de calor global con cámaras de aire	130
4.3.4	Distribución anual de temperatura	130
4.3.5	Distribución de calor anual por conducción	136
4.3.6	Ganancia de calor solar anual	137
4.3.7	Ganancia de calor anual por ventilación	138
Capítulo V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		
5.1	Conclusiones	141
5.2	Recomendaciones	143
GLOSARIO		145

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	159
ANEXOS	163

LISTA DE TABLAS

1 Grupos climáticos en Venezuela	22
2 Ecuaciones para calcular la producción del calor interno	47
3 Valores aproximados de la resistencia térmica de las cámaras de aire no ventiladas en función del espesor	65
4 Desfase y coeficiente de amortiguamiento para dos cerramientos iguales pero invertidos	72
5 Datos climatológicos de 3 ciudades de Venezuela el 5-11-2000	90
6 Datos de entrada necesarios para la construcción del modelo de vivienda	91
7 Propiedades termo-físicas de elementos que componen el techo, paredes y piso	91
8 Datos climáticos de la ciudad de Caracas el 5-11-2000	93
9 Absortividad de los elementos constructivos del techo	93
10 Conductividad térmica de algunos elementos constructivos	94
11. Área total del techo de machihembrado	95
12. Absortividad del elemento constructivo utilizado en las paredes de la vivienda	96
13. Conductividad térmica de elementos constructivos de paredes	97
14. Área total de elementos constructivos de las paredes	97
15 Área total de una pared compuesta de la vivienda modelo Cujisal	98
16. Tasa de calor metabólico en función de la actividad	101
17. Actividad-ocupante	102
18. Temperatura interior en una vivienda INAVI en 3 zonas climáticas en Venezuela	115
19. Flujo de calor en una vivienda INAVI en 3 zonas climáticas	116
20 Evolución de temperaturas en el tiempo por zona	123
21 Ganancias y pérdidas de calor global	128

22 Distribución anual de temperaturas Habitación 2	132
23 Distribución anual de temperatura sala	133

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

2-1 Inclinación de la radiación solar.	10
2-2 Temperatura de la superficie terrestre	11
2-3 Cinturones de vientos y sus direcciones	13
2-4 Influencia de la topografía en la lluvia y la radiación	14
2-5 Variación de la temperatura según el entorno urbano	15
2-6 Diagrama psicrométrico temperatura y humedad	17
2-7 Rosa de los vientos	18
2-8 Diagrama psicrométrico y tipos de clima en 8 localidades en Venezuela	20
2-9 Mapa Edo. Carabobo	23
2-10 Psicroméetro	25
2-11 Diagrama Psicrométrico	26
2-12 Relación entre confort-temperatura del aire-velocidad del aire	27
2-13 Distintos tipos de anemómetro	28
2-14 Equipo para medir TBN	28
2-15 Temperatura operativa Vs. Vestimenta y actividad	32
2-16 Respuesta humana frente a diferentes temperaturas efectivas estándar	34
2-17 Líneas de igual temperatura efectiva estándar y zonas de confort	35
2-18 PDD. Porcentaje de personas inconformes con el ambiente térmico en función al PMV	37
2-19 Temperatura de confort mes a mes según Humphreys	39
2-20 Modos de transferencia de calor	40
2-21 Asociación de la transferencia de calor por conducción con la difusión de energía debida a la actividad molecular	41
2-22 a Desarrollo de la capa limite de velocidad o hidrodinámica	

sobre placa plana	43
2-22 b Producción de la capa límite térmica sobre una placa plana isotérmica	43
2-22 c Evolución de la capa límite de concentración de especies sobre una placa plana	43
2-23 Desarrollo de la capa límite hidrodinámica sobre una placa plana	44
2-24 Espectro de la radiación electromagnética	45
2-25 a Radiación emitida por una superficie. Distribución espectral	45
2-25 b Radiación emitida por una superficie. Distribución direccional	45
2-26 Intercambios térmicos entre el cuerpo y el ambiente	49
2-27 Porcentaje de pérdida de calor del cuerpo humano	51
2-28 Repartición de la radiación solar que incide en una superficie	57
2-29 La resistencia térmica y la conductancia permiten relacionar la temperatura sol-aire con la temperatura del interior	63
2-30 Flujo de calor en un local para régimen estacionario	69
2-31 Temperatura en un cerramiento a lo largo del día	70
2-32 Desfase y amortiguamiento de la onda diaria de temperatura	71
2-33 Tres tipos de edificación según su inercia térmica	73
3-1 Plano vivienda INAVI modelo Cujisal	84
3-2 Creación de zona térmica en Ecotect	109
3-3 Creación de techos en Ecotect	110
3-4 Creación de particiones en Ecotect	111
4-1 Distribución de canales de HOBOS en la vivienda INAVI modelo Cujisal	116
4-2 Lectura de la temperatura del aire en el canal 1	118
4-3 Lectura de la temperatura del aire en el canal 2	118
4-4 Lectura de la temperatura del aire en el canal 3	119
4-5 Lectura de la temperatura del aire en el canal 4	119

4-6 Variación de temperaturas del aire en el tiempo en los canales 1, 2, 3 y 4	120
4-7 Temperatura y humedad vs Tiempo	120
4-8 Evolución de temperatura Enero 19-2000	121
4-9 Flujo de calor de todas las zonas Enero 19-2000	125
4-10 Composición de pared tradicional y con cámara de aire	129
4-11 Composición de techo tradicional y con cámara de aire de 75 mm	129
4-12 Flujo de calor en todas las zonas Enero 19-2000, con cámara de aire	130
4-13 Distribución anual de temperatura de todas las zonas	130
4-14 Orientación sur de la fachada principal de la vivienda	133
4-15 Orientación este para la fachada principal	134
4-16 Orientación norte de la fachada principal	135
4-17 Distribución anual de calor por conducción	136
4-18 Ganancia de calor solar anual	137
4-19 Ganancia de calor anual por ventilación	138

INTRODUCCIÓN

El cambio climático que atraviesa el planeta, representa una problemática ambiental a escala global y es la consecuencia del mal uso de los recursos por parte del hombre, en la actualidad se han realizado grandes cambios para la obtención de recursos energéticos con la finalidad de disminuir la emisión de gases que alteran el equilibrio, estos son conocidos como la causa principal de estos cambios climáticos.

El dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbono (PFC), hexafluorocarbonos (SF_6), son algunos de los gases existentes en la atmósfera, sin embargo, la alteración porcentual de estos gases es la causa del fenómeno conocido como “Efecto Invernadero”, es por ello que a este conjunto de gases se les conoce como Gases de Efecto Invernadero o GEI.

Las Naciones Unidas, reúne a los países industrializados en la ciudad de Kyoto, el 11 de diciembre de 1997, para establecer las pautas a seguir por el Protocolo de Kyoto. El 4 de noviembre del 2004, Venezuela decide adherirse al Protocolo de Kyoto. En el año 2005 se realiza en Montreal, Canadá la primera reunión de este protocolo, cada año son más los países que toman conciencia de los efectos ocasionados por este fenómeno, es por ellos que se han firmado estos acuerdos que tienen como objetivo la reducción de las emisiones de los gases que producen el efecto invernadero, por parte de los países participantes.

Son muchos los sectores de producción que han participado en la emanación de los GEI, entre los que se encuentran:

- Energía
Quema de combustible en: Industrias de energía, Industrias manufactureras y construcción.
- Transporte
Emisiones fugitivas de combustible: Combustible sólido, petróleo y gas natural.

- Procesos industriales: Productos minerales, Industria química, Producción de metales, de halocarbonos y hexafluoruro de azufre, Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre. Utilización de disolventes y otros productos.,

En las últimas décadas muchos investigadores de la construcción la arquitectura y la ingeniería han estudiado la manera de convertir los lugares habitados, en zonas confortables térmicamente, es por ello que se ha rediseñado, de manera de convertir las edificaciones en locaciones sin desperdicio de la energía, optando al diseño bioclimático y de esta manera a la climatización pasiva, permitiendo el ahorro de energía.

Venezuela al igual que el resto del mundo ha sido afectada por estos cambios climáticos, más del 70% de la electricidad utilizada en Venezuela proviene de El Guri, la tercera de las centrales hidroeléctricas más grandes del mundo. Debido a la sequía de los últimos años, el nivel del agua de la represa baja centímetros por día, originando el cierre paulatino de la central, ocasionando hoy en día una alerta en el sector eléctrico, aunque se han tomado medidas para disminuir el consumo eléctrico en los hogares y comercios de los venezolanos, por lo que el uso de equipos acondicionadores de aire que tienen un alto consumo de energía eléctrica, se ha vuelto muy costoso.

Conscientes de los cambios climáticos que acontecen a nivel global y de las consecuencias de estos cambios en el sector de diseño y construcción de edificaciones, el trabajo especial de grado que a continuación se presenta tiene como objetivo evaluar el comportamiento térmico de viviendas de bajo costo realizadas en Venezuela a fin de mejorar la habitabilidad y sustentabilidad de las mismas, permitiéndole a sus habitantes un ambiente confortable térmicamente con un bajo consumo energético. Para el estudio se evaluará el comportamiento térmico la vivienda INAVI (Instituto Nacional de la Vivienda) modelo Cujisal, ubicada en Mariara Edo. Carabobo. Colocando equipos de medición donde se obtienen las condiciones ambientales dentro de la edificación. Por otra parte, se realizaran cálculos del comportamiento térmico de una edificación en régimen permanente utilizando las

dimensiones ajustadas a la vivienda INAVI modelo Cujisal, estas operaciones se realizarán en Caracas, Carabobo, Maracaibo y Mérida. Además, mediante el uso de una herramienta computacional llamada EcotectTM, en donde se simularán cambios en el diseño y construcción a fin de estudiar los cambios en el comportamiento térmico dentro de la vivienda INAVI, modelo Cujisal, estos tres métodos nos permitirán evaluar a través del índice de confort establecido para el estudio, las condiciones térmicas dentro de la vivienda para los habitantes de la misma.

CAPITULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Justificación del Problema

Un gran porcentaje de la población venezolana es de bajos recursos, según un estudio realizado por María Beatriz Orlando y Matías Riutort, del Instituto de Investigación Económica y Social (IIES) de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) alcanzaba el 57% para el año 2000, por lo cual se han desarrollado y construido viviendas de bajo costo (entre 15.000 y 20.000 por año), por parte de entidades gubernamentales (INAVI) a fin de cubrir las necesidades de estos grupos familiares, ofrecen planes de pago que pueden ser cubiertos por esta parte de la población venezolana. Sin embargo, se han presentado quejas en este tipo de vivienda por parte de los habitantes, relacionadas con el bajo nivel de confort térmico, es decir, los ocupantes de estas viviendas de bajo costo se ven afectados por la variación climática a lo largo del año.

Las viviendas de bajo costo desarrolladas en Venezuela serian de gran utilidad para el estudio de sistemas de climatización pasiva debido a que por su misma condición requieren un ahorro de recursos energéticos, con el fin de aumentar la rentabilidad de la construcción de las mismas, es por ello que se requiere disminuir el uso de equipos acondicionadores de aire que aumentan de manera drástica el consumo de energía eléctrica, lo que afecta directamente la sostenibilidad.

La evaluación y la representación de la evolución de parámetros de diseño, materiales relacionados con el sistema de climatización pasiva como parte de la tesis doctoral del Profesor Geovanni Siem, permitirá mejorar tanto el gasto energético, como la habitabilidad y sostenibilidad de estas viviendas de bajo costo, variando los parámetros de diseño bajo los cuales fueron realizadas y tomando en cuenta la zona climática en la cual es construida.

Objetivo General

Evaluar mediante el uso de una herramienta computacional el comportamiento térmico de viviendas de bajo costo en Venezuela concebidas para funcionar con sistemas de climatización pasiva, a partir de datos de un caso real, que permita caracterizar el comportamiento térmico y el potencial de ahorro de energía en relación a técnicas activas, en diferentes zonas climáticas del país.

Objetivos Específicos

- Evaluar los requerimientos del confort térmico en vivienda INAVI, modelo Cujisal.
- Realizar mediciones de los parámetros relacionados al comportamiento térmico de viviendas con sistemas pasivos de climatización tomando como modelo viviendas diseñadas y construidas por el INAVI.
- Realizar simulaciones del comportamiento térmico del caso seleccionado mediante el uso de una herramienta computacional.
- Caracterizar el comportamiento térmico y el potencial de ahorro de energía para vivienda INAVI en tres zonas climáticas.
- Proponer parámetros de diseño para el mejoramiento del comportamiento térmico a ser tomados en cuenta en la fase de diseño para producir alta eficiencia energética y adecuadas condiciones de confort térmico.

Antecedentes

Siem (2008) indica que el dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua, metano, oxido de nitrógeno (NO_x), Ozono (O₃) y clorofluorocarbonos (CFC₁₃) atrapan el calor transportado por los rayos solares en la atmósfera, estos gases conocidos como gases de efecto invernadero (GEI) son los responsables del 97% del fenómeno conocido como “efecto invernadero”, este fenómeno regula la temperatura de la tierra. El cambio climático que actualmente se esta viviendo en la Tierra se debe al aumento de las concentraciones de GEI en la atmósfera, ocasionando las alteraciones climáticas que se están viviendo. Canadá se encuentra entre los más de 160 países que firmaron entre los años 1997 y 1999 el protocolo de Kyoto, que tiene como objetivo la reducción de las emisiones de gases del efecto invernadero. Las organizaciones publicas, privadas, profesionales y las comunidades han trabajado en conjunto para lograr este objetivo. Entre las medidas tomadas se estudiaron los parámetros de diseño, en la arquitectura y construcción de edificaciones que han sido influenciados por los cambios climáticos que ocurren en el planeta causados por las emisiones de GEI, obteniéndose una serie de recomendaciones emitidas por el Royal Architectural Institute of Canadá (RIAC) en donde se incluyen, programas de ahorro de energía, reducción del impacto ambiental del cemento, entre otros.

Siem (2007) realiza el estudio de habitabilidad y sostenibilidad de un modelo de viviendas de bajo costo construidas por el INAVI, por el confort térmico, decide realizar simulaciones, usando el programa ArchiPak versión 5.4, en tres ciudades ubicadas a diferentes cotas (Caracas, Maracaibo y Mérida). Los resultados obtenidos muestran que con estrategias de diseño apropiada para cada zona climática se puede mantener la temperatura interna de las viviendas en la zona de confort, sin realizar instalaciones de equipos de acondicionamiento de aire, que contradicen el concepto de estas viviendas de bajo costo y que además atenta contra la calidad ambiental.

Sosa y Siem (2004a) describen los criterios y las estrategias que se deben tener presente para diseñar y construir edificaciones cuyo comportamiento energético sea eficiente y permita el ahorro de energía sin afectar la calidad de vida de sus

habitantes. Entre los criterios se encuentra la ventilación e iluminación natural y el bloqueo solar para reducir el consumo de energía eléctrica. En este estudio se explica la importancia de incorporar las condiciones climáticas a la que va a estar expuesta la edificación y las mejoras que podría ocasionar tomar en cuenta estos parámetros en el momento del diseño y construcción de las edificaciones e incluye los equipos agregados en el momento de equiparlas. Este criterio al pasar de los años se ha vuelto fundamental debido al alto consumo de energía de los equipos instalados a lo largo de su ciclo de vida. La situación se ha vuelto más grave con las viviendas en donde se utiliza sistemas de climatización pasiva, donde el nivel de confort térmico es muy bajo. Se proponen recomendaciones enfocadas en la eficiencia energética se recomienda el uso de el Manual de Diseño de Edificaciones Energéticamente Eficientes.

Sosa y Siem (2004b) exponen los alcances obtenidos con los programas de ahorro de energía eléctrica, como respuesta a la sequía prolongada de la represa del Gurí, que afectó la disponibilidad de la energía eléctrica en Venezuela, estos programas de ahorro de energía eléctrica fueron dirigidos a edificaciones públicas. Este programa se realizó en conjunto con la Universidad Central de Venezuela y la Universidad Simón Bolívar donde se elaboró una Guía de Operaciones de Ahorro de Energía Eléctrica para Edificaciones Públicas 1, Taller de capacitación en Ahorro de Energía Eléctrica 2 para Funcionarios Públicos y un plan de visitas técnicas a las organizaciones adscritas al Programa para orientar y evaluar las medidas de ahorro implantadas, se pide retomar la idea basada en el ahorro energético a nivel nacional.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 CLIMA

Es la combinación de una serie de fenómenos o estados atmosféricos que tienen lugar en una región y época determinada, ya que el clima es variable en grandes periodos de tiempo, se considera el promedio y las variaciones extremas al que el estado atmosférico se haya sujeto. Entre los principales elementos que definen el clima de una región se encuentran: la temperatura del aire, la presión, la nubosidad, la humedad, el viento definido por su velocidad y dirección, las precipitaciones (lluvia, nieve, rocío, niebla, granizo, etc.), y la radiación solar. Además, existen factores característicos de la tierra a nivel global de los cuales también depende el clima, tales como: la altitud, la latitud el relieve, la distribución de tierras y mares, las corrientes marinas, la vegetación, etc.

Los elementos y factores de los cuales depende el clima se dividen en dos tipos: los constantes como la latitud y los variables como las corrientes marinas, los vientos predominantes etc.

2.1.1 Aspectos globales del clima (Macroclima)

Las condiciones macro climáticas son consecuencias de la pertenencia a una latitud y región determinada.

2.1.1.1 Radiación solar

La desigualdad de incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre trae como consecuencia la existencia de los diferentes tipos de clima, estas diferencias se originan debido a la forma redondeada de la tierra y la no-

perpendicularidad de su eje respecto al plano de su órbita alrededor del sol. Formándose el ángulo de inclinación terrestre (ver figura 2-1).

El calentamiento total producido por el sol durante un día en la superficie terrestre depende de la duración del día y de la intensidad de la incidencia, dependiendo esta de dos factores: la inclinación de la radiación y la absorción atmosférica. De la energía solar interceptada en la tierra, 60% es reflejado por la atmósfera y las nubes, un 16% contribuye a la evaporación del agua, originando el ciclo del agua, el 11,5% se refleja en la superficie terrestre, solo el 9,5% es absorbido por la superficie terrestre, alrededor del 3% participa en el proceso de fotosíntesis, el 0,02% participa en la formación de reservas de energía fósil.

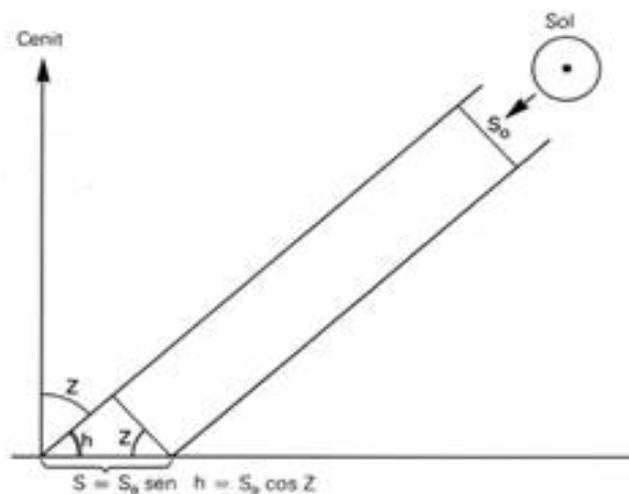


Figura.2-1. **Inclinación de la radiación solar** (Fuente: <http://usuarios.multimania.es/vicobos/varios/eco/index.html> visitada 17/03/09).

La intensidad de la radiación solar que alcanza la superficie superior de la atmósfera se toma como constante solar: 1395 W/m^2 , pudiendo variar en un $\pm 2\%$ con las oscilaciones en la energía de salida solar, y $\pm 3,5\%$ por las alteraciones en la distancia sol-tierra.

2.1.1.2 Temperatura

La temperatura atmosférica, del aire o también conocida en términos técnicos como la temperatura del bulbo seco, es el indicador de la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire. La temperatura varía en diferentes lugares de la tierra siendo afectada por varios factores, y va disminuyendo desde el ecuador hacia los polos, esto se debe a la inclinación del eje terrestre y a los movimientos de rotación y traslación de la tierra, también se ve afectada por la altitud de la zona.

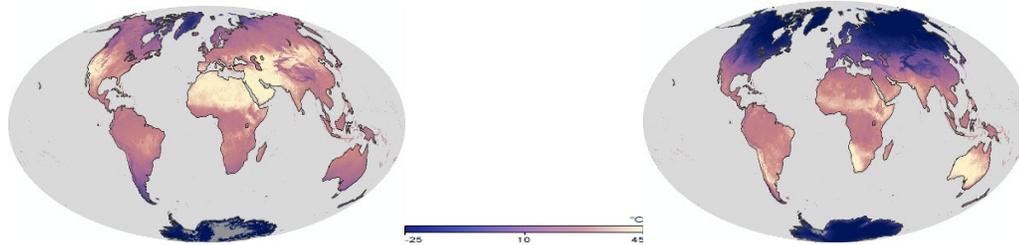


Figura. 2-2. Temperatura de la superficie terrestre Junio y Diciembre de 2009 (Fuente: <http://earthobservatory.nasa.gov/GlobalMaps/> visitada: 27/02/10)

La temperatura de un lugar se establece mediante promedios, conociéndose esta como temperaturas medias (de las que se conocen las diarias, mensuales, anuales) y mediante oscilación o amplitud térmica (es la diferencia entre el mes más cálido y el más frío).

2.1.1.3 Presión

La presión del aire se mide con el barómetro, que determina el peso de las masas de aire por superficie, las diferencias de presión entre distintos puntos de la corteza terrestre, hacen que el aire se desplace de un lugar a otro originando los vientos. En los mapas de tiempo, los puntos con similares presiones se unen formando unas líneas a las que se le conoce como isobaras.

2.1.1.4 La humedad

Este es el indicador de la cantidad de agua en el aire, la humedad depende de la temperatura y de los vientos dominantes, y debido a ella suceden las precipitaciones, que son importantes al momento de determinar el clima en una determinada región. Si el higrómetro muestra la humedad relativa presente en el aire, marca el 100%, el aire ha llegado al máximo de su saturación, si su marcador indica un número mayor al 50% el aire se considera húmedo, por el contrario el aire es seco si se indica un número menor de 50%.

2.1.1.5 Nubosidad y precipitación

Las nubes son la consecuencia de la condensación del vapor de agua contenido en el aire, cuando se aumenta la condensación y mezcla con otras masas de aire húmedo las gotas de agua incrementa su peso lo que provoca la lluvia. La nubosidad y las precipitaciones son variables en las diferentes regiones de la tierra y cambian debido a la presencia de agua y la latitud.

La radiación solar incidente disminuye como consecuencia de la presencia de nubes y precipitaciones, lo que afecta directamente a la temperatura máxima, mientras que en la noche las nubes se comportan como una barrera contra la radiación emitida por el suelo.

2.1.1.6 Viento

Los vientos son el resultado de la distribución desigual de la temperatura alrededor de la tierra. Estas diferencias de temperatura entre el ecuador y los polos aportan la energía para que ocurra la circulación, correspondientes a los tres tipos de vientos predominantes: vientos polares, vientos alisios y vientos del oeste.

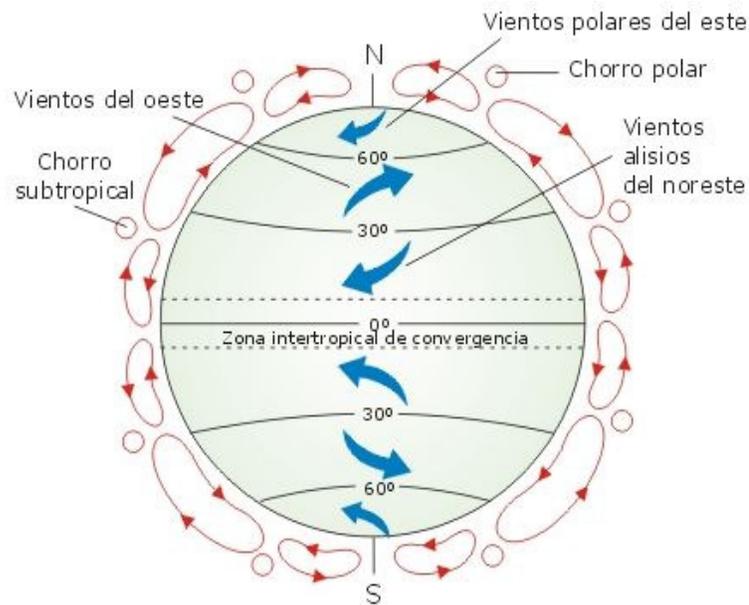


Figura 2-.3. *Cinturones de viento y sus direcciones* (Fuente:

<http://atlas.snet.gob.sv/atlas/files/fenomenosmetereologicos/cinturonesdeviento.html>, visitada:

01/03/2010)

Los vientos son considerados corrientes de convección en la atmósfera que tiende a igualar el calentamiento diferencial de las diversas zonas de la tierra.

2.1.2 Factores del clima (Microclima)

Los aspectos globales del clima se ven afectados por una serie de factores locales entre los que se encuentran; la vegetación, la presencia de masas de agua, el entorno urbano, la altitud, la topografía, el uso del suelo, etc., dando como resultado la climatología real de un sitio.

2.1.2.1 La altitud

Modifica las temperaturas, esta disminuye a medida que aumenta la altitud, unos 6,4°C cada 1.000 metros de altitud.

2.1.2.2 La latitud

Modifica la temperatura desde el ecuador hacia los polos. Las precipitaciones también son influenciadas por este factor.

2.1.2.3 La topografía o relieve

Las montañas alteran la incidencia solar, disminuyéndola al llegar a terrenos ubicados en sus laderas, los patrones de viento, aumentando o disminuyendo las velocidades de los vientos además, constituyen barreras naturales al paso de las nubes, haciendo que las nubes se acumulen a un lado de la montaña y aumente su pluviosidad.

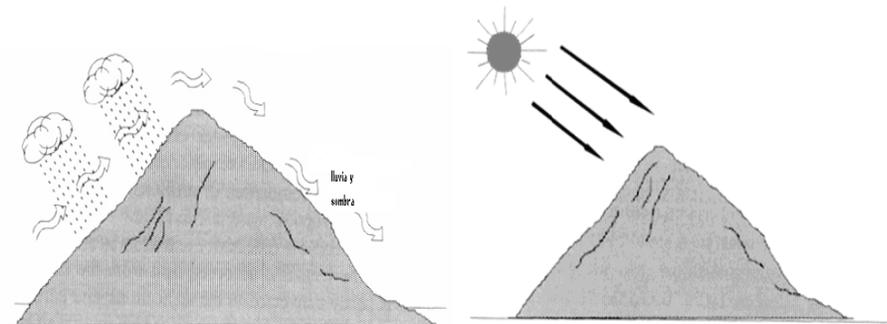


Figura 2-4. Influencia de la topografía en la lluvia y radiación solar de una zona (Fuente: Rosales 2008)

2.1.2.4 El entorno urbano

Como consecuencia de la estructura de las ciudades, al calor disipado por los automóviles, los equipos de climatización activa y otros artefactos el clima en las ciudades es diferente al de las áreas rurales. En las ciudades el clima presenta

temperatura de aire mayor, menor humedad relativa, velocidades del viento reducidas y menor cantidad de radiación solar incidente.

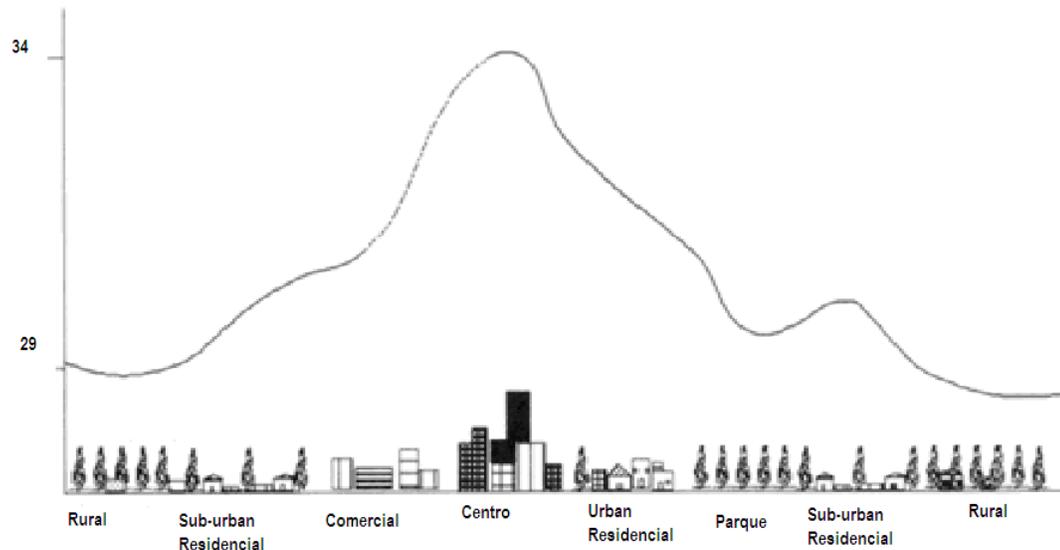


Figura 2-5. Variación de la temperatura según el entorno urbano. (Fuente: Rosales 2008)

2.1.2.5 Presencia de masas de agua

Las regiones cercanas a grandes masas de agua tienen vientos locales que pueden prevalecer sobre los vientos globales. A estos vientos se le conoce como brisa marina.

2.1.2.6 La vegetación

La vegetación y los árboles sirven de barrera, moderando los efectos de temperatura, la dirección del viento y humedad en la zona.

2.1.3 Datos climáticos

Los datos climáticos de una región en particular son registrados con una frecuencia dada, luego se procesan estadísticamente de acuerdo con las diversas aplicaciones técnicas asociadas.

2.1.3.1 La radiación solar

El heliógrafo es el instrumento que mide la duración de la luz solar, y es expresada en horas/día. Para medir cuantitativamente la radiación solar se utilizan los actinógrafos y los piranómetros. La unidad estándar para la intensidad de la radiación solar es W/m^2 , es decir, la incidencia de la energía electromagnética en J/m^2 .

Las estaciones meteorológicas registra la radiación solar global, es decir la directa y la difusa juntas. Para conocer el valor de cada componente, existen métodos de complejidad variable, el mas sencillo y difundido es el modelo de Liu y Jordan (Rosales 2008), donde da la fracción de la radiación solar difusa (H_d) respecto a la global (H_g) sobre la base de un coeficiente K_t asociado al grado de cobertura del cielo (la directa se obtiene restando la difusa de la global):

$$\frac{H_d}{H_g} = 1.39 - 4.02K_t + 5.531K_t^2 - 3.1108K_t^3$$

El índice de claridad atmosférica K_t , nunca toma valores próximos a 0 o a 1, a menos que se encuentre a grandes altitudes, donde tiene valores cercanos a 1 al aumentar la transparencia de la atmósfera.

2.1.3.2 La temperatura de aire

Es registrado con un termómetro de bulbo seco protegido de la radiación solar y la lluvia, se le denomina temperatura del bulbo seco (TBS), es importante conocer

los valores medios, mínimos y máximos de cada día en períodos prolongados para el diseño de edificaciones, siendo otra información útil la variación diaria, lo que permite una apreciación dinámica de los ciclos de temperatura.

2.1.3.3 La humedad

La humedad es medida con un instrumento conocido como psicrómetro. Los datos de humedad son acompañados habitualmente por los datos de temperatura.

2.1.3.4 La temperatura + humedad

Cuando son evaluadas simultáneamente se puede recurrir al diagrama Psicrométrico, con los datos obtenidos y representados en el diagrama se obtiene una buena apreciación del clima.

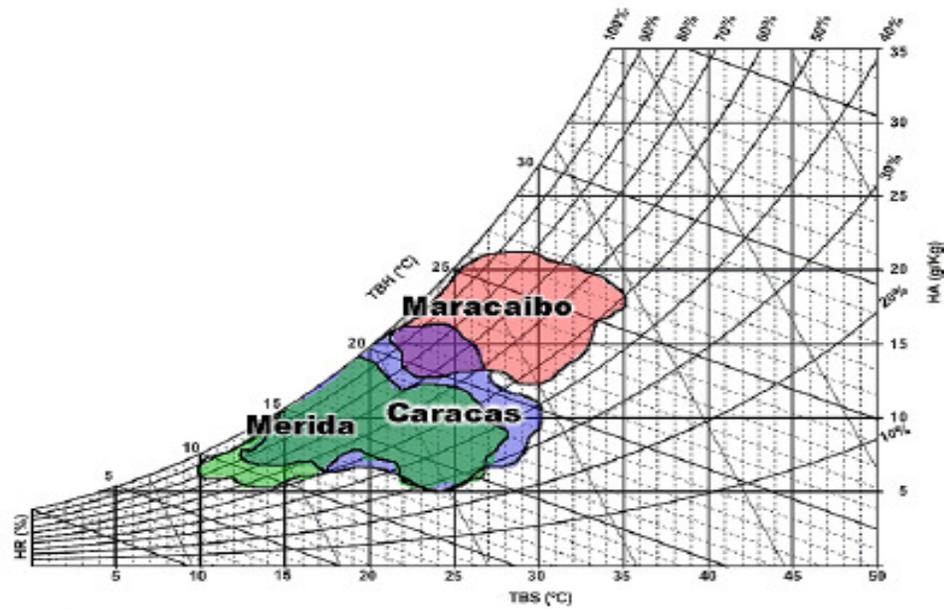


Figura 2-6. *Temperatura y humedad Caracas, Mérida y Maracaibo* (Fuente: Rosales 2007, WEATOOL v1.10)

2.1.3.5 El viento

La velocidad del viento es medida con un instrumento llamado anemómetro, y la dirección del viento se mide con las veletas, es colocado de 10 a 20 m de altura en las estaciones metereológicas, se registra en m/s. Lo turbulento y variante orilla a un tratamiento estadístico para precisar la velocidad y dirección del mismo. Se puede expresar por medio de tablas (se tabulan los porcentajes de tiempo en que se presentan vientos de velocidades y direcciones específicas) o a través de la rosa de los vientos (donde se presenta la misma información gráficamente, es decir se colocan porcentajes de tiempo en los que se presentan vientos, de velocidades y direcciones).

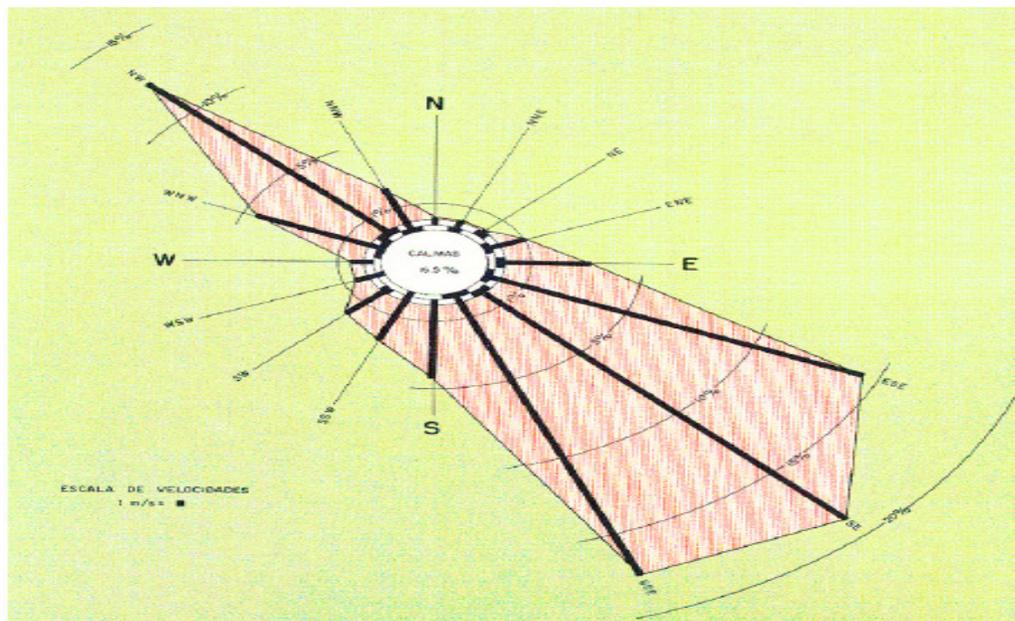


Figura 2-7 Rosa de los vientos. Observatorio Cagigal (tomado de: Atlas climatológico e hidrológico de la cuenca hidrográfica del valle de Caracas, 03-03-2010)

En la rosa de los vientos la velocidad del viento esta representada en los trazos semicirculares y los radiales dan la dirección y el porcentaje de tiempo en que se dan dichas velocidades.

2.1.3.6 La pluviosidad

Es medida con pluviómetros y se expresa en mm. Los valores mensuales de pluviosidad año muestran las temporadas secas y de lluvia de una zona.

2.1.3.7 La nubosidad

Este es un factor determinante en la distribución de la radiación solar y es una parte importante en el proceso de la formación de la lluvia. Se puede expresar en porcentaje de cielo cubierto o en octavos, este índice varía de 0 a 8, correspondiendo el cero (0) a un cielo totalmente despejado y el ocho (8) a un cielo totalmente nublado.

2.1.4 Características generales del clima en Venezuela

Venezuela está localizada entre $0^{\circ}38'53''$ y $12^{\circ}12'00''$ latitud norte, entre $59^{\circ}47'50''$ y los $73^{\circ}22'38''$ al oeste del meridiano de Greenwich, en la zona intertropical de bajas presiones ecuatoriales, como consecuencia posee un clima tropical con dos estaciones, una estación de lluvia (aproximadamente de junio a noviembre cuando el territorio se encuentra afectado por la convergencia intertropical) y otra seca (aproximadamente de diciembre a mayo).

Existen diferentes situaciones climáticas en el país, las precipitaciones varía desde menos de 400 mm anuales en la franja costera a más de 4000 mm anuales al sur del país, las temperaturas oscilan de más de 40°C en las zonas costeras del país a menos de 0°C en los páramos andinos, la humedad relativa es por lo general muy elevada, presentándose valores mayores al 80% en los andes, sur del lago de Maracaibo y río Caura en Bolívar, los mínimos pueden registrar hasta un 2%, como es el caso de Barcelona y Carora.

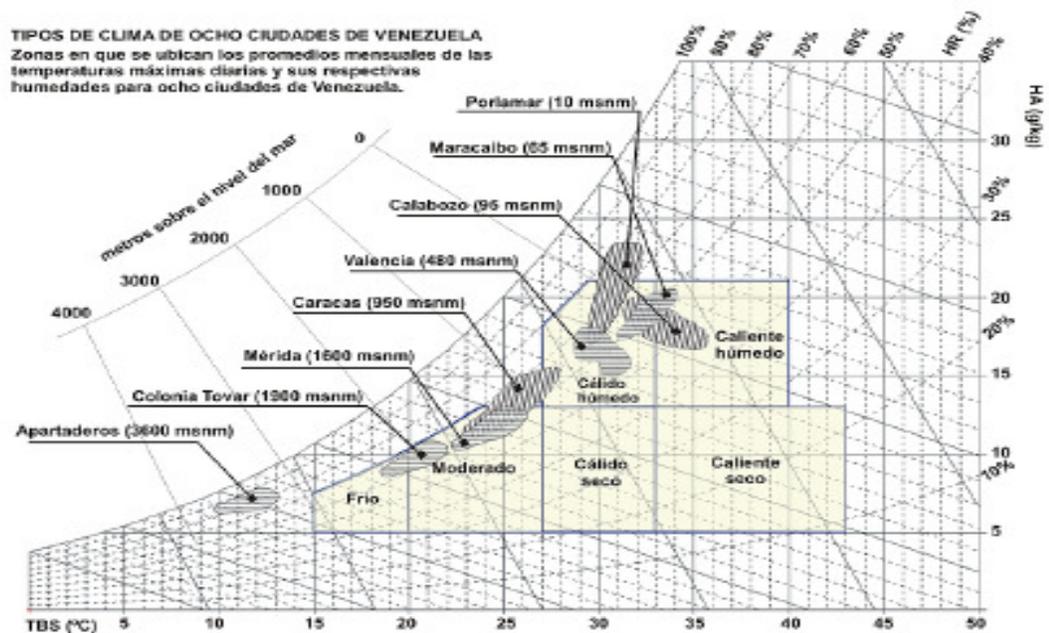


Figura 2-8. Tipos de clima diurno de ocho localidades venezolanas (Fuente: Rosales 2007)

2.1.4.1 Clasificación de climas en Venezuela

Los climas de Venezuela según la clasificación de Köppen

- **Lluvioso tropical de selva.** Este clima se caracteriza por presentar una temperatura máxima promedio de 18 °C. Las lluvias son abundantes, de hasta 2.000 mm y están determinadas por la zona de convergencia intertropical. Los altos niveles de precipitación, combinados con las altas temperaturas, producen una abundante evaporación que genera mucha humedad. Este tipo de clima se corresponde con el de selva y la vegetación siempre verde.
- **Lluvioso tropical de bosque húmedo.** Es semejante al de selva en sus patrones de temperatura y precipitación. La vegetación corresponde con bosques densos de menor porte que las especies de selva. Los árboles dejan

caer sus hojas durante la corta estación seca. En este clima se agrupan los bosques tropófilos, sean o no inundables.

- **Lluvioso tropical de sabana.** Las precipitaciones oscilan entre 800 y 1.500 mm, entre dos períodos bien marcados: lluvia y sequía. Con este clima se corresponde el de sabanas llaneras y los paisajes de sabanas limpias, arboladas y los morichales.
- **Semiárido tropical.** Es un clima de transición entre el de sabana y el desértico. Las temperaturas son altas y las escasas precipitaciones varían entre 250 y 400 mm. La vegetación propia de las zonas con estos climas es xerofítica con algunos matorrales.
- **Desértico tropical.** Se caracteriza por un gran déficit hídrico durante todo el año. La radiación solar y las temperaturas son muy elevadas, y las precipitaciones son menores de 100 mm al año. Estas condiciones hacen que la evapotranspiración supere la precipitación y generan un ambiente muy seco. La vegetación que se desarrolla en estos climas es estrictamente xerofítica con adaptaciones fisiológicas a las condiciones climáticas, como hojas pequeñas o modificadas en espinas, que limitan la transpiración.
- **Templado de altura húmedo.** Es un clima transicional entre los pisos térmicos montano bajo y montano alto. Las temperaturas son bajas y disminuyen con la altitud, a medida que aumenta la humedad. Las precipitaciones son recurrentes, al igual que la formación de neblina y rocío. La vegetación propia de este tipo climático son los bosques de montaña y los nublados.
- **Templado de altura con período seco.** Localizado en el piso térmico premontano y montano bajo, presenta temperaturas templadas, más elevadas que las de los climas templados húmedos. El período seco, en el ciclo de precipitaciones, determina la existencia de vegetación tropófila, tanto de bosque como de sabana.
- **Páramos y nieves perpetuas.** Existe en los pisos térmicos parameros, entre 3.000 y 4.600 msnm. Las temperaturas son muy bajas y la vegetación de las

zonas con este clima es escasa, con predominio de frailejón y otras herbáceas. Por encima de los 4.600 m de altura se encuentran las nieves perpetuas, donde se pueden alcanzar temperaturas bajo 0, y las precipitaciones se dan en forma de nieve y escarcha. A esta altitud, la vegetación es prácticamente inexistente.

Tabla 1 Grupos climáticos en Venezuela

Grupos climáticos	Tipos de clima
Lluviosos tropicales	Selva
	Bosque húmedo
	Sabana
Secos tropicales	Semiárido tropical
	Desértico tropical
Tropicales de altura	Templado de altura húmedo
	Templado de altura con período seco
Fríos de alta montaña tropical	Páramo
	Nieves perpetuas

2.1.5 Características generales del clima en el Edo Carabobo

El estado Carabobo esta situado en la región centro-norte de Venezuela, forma parte de la cordillera central, cuenta también con la depresión que rodea al lago de Valencia, llanuras abiertas y hermosos valles, reconociéndose varios tipos de clima en la región. En el sector oriental domina un clima semiárido y calido, con una temperatura media anual de 26,5 °C y una precipitación anual de 463 mm. El occidente del estado evidencia mayores precipitaciones, y posibilidad de vientos alisios. En la Serranía del litoral se tiene un clima cuya temperatura media anual es de 20,5 °C y su pluviosidad anual es de 1.191 mm. En la depresión lacustre valenciana se encuentran las condiciones más cálidas del estado, teniendo una

temperatura media anual de 24,6 °C y una pluviosidad de 852 mm., con una estación seca definida.

Mariara esta ubicada en la depresión lacustre valenciana teniendo el clima más cálido de la región.



Figura 2-9. Mapa Edo. Carabobo

2.2 CONFORT TÉRMICO

El confort térmico es un término subjetivo, que no solo depende de las preferencias personales o de adaptación del individuo, sino también de varios parámetros externos. Este concepto involucra el metabolismo del cuerpo humano, los factores ambientales y las respuestas psicológicas y sensoriales del ser humano.

Cuando se alcanza el equilibrio térmico, es decir, cuando el balance global de pérdidas y ganancias de calor es igual a cero, se obtiene la sensación de confort.

2.2.1 Parámetros que afectan el confort térmico

El confort térmico se ve afectado por una serie de parámetros de diversos tipos, que los podemos clasificar en:

- Parámetros físicos, estos hacen referencia a las condiciones climáticas de la zona como la temperatura de aire, la humedad, la velocidad del viento y el entorno radiante.
- Parámetros circunstanciales como la vestimenta, la actividad y el tiempo de permanencia en el ambiente.
- Parámetros fisiológicos como la edad y el sexo.
- Parámetros psicológicos y sociológicos como las expectativas, la condición social y la nacionalidad.

Los parámetros circunstanciales, fisiológicos, psicológicos y sociológicos, se refieren a la percepción del individuo con su entorno térmico.

2.2.1.1 Parámetros físicos

2.2.1.1.1 Temperatura del aire

La temperatura del aire nos indica el estado energético o térmico de un ambiente. Esta temperatura es fundamental, pero insuficiente en la práctica para explicar la sensación térmica que cabría esperar en un lugar determinado, para una evaluación se requiere combinarla con los demás parámetros físicos.

Cuando la temperatura del aire está por debajo de la temperatura de la piel, se produce una transferencia de calor por convección desde la piel hacia el aire. En caso contrario, habrá un aporte adicional de calor al cuerpo humano, ya que se transfiere calor del aire a la piel, lo que puede provocar una sensación de discomfort térmico.

En términos técnicos a la temperatura del aire se le conoce como temperatura de bulbo seco (TBS), esto se debe a que es medida con un termómetro de mercurio

seco, el cual se debe proteger de la radiación del entorno. Las unidades utilizadas para expresar la temperatura del aire pueden ser, en grados Celsius [$^{\circ}\text{C}$], en grados Fahrenheit [$^{\circ}\text{F}$] o en Kelvin [K].

2.2.1.1.2 Humedad del aire

La importancia de la humedad del aire en la sensación térmica consiste en que es ella la eficacia de la evaporación del sudor, tanto en la piel como en los pulmones y las vías respiratorias, condicionando la disipación del calor sensible en el cuerpo.

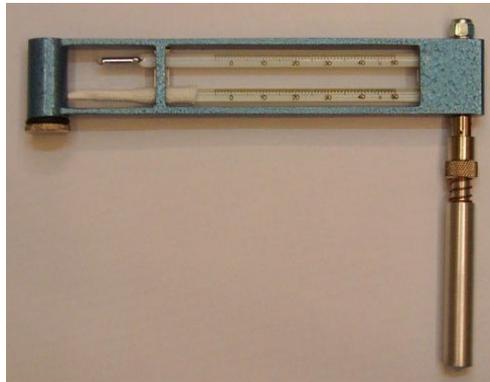


Figura 2.10 Psicrómetro

El instrumento para medir la humedad se llama psicrómetro, conformado por un termómetro de mercurio ordinario que registra la temperatura del bulbo seco y otro cuyo bulbo se mantiene humedecido, al evaporarse el agua, se produce un enfriamiento, por lo que el registro en el termómetro de bulbo mojado será menor que el de bulbo seco. Cuanto más seco este el aire mayor será la diferencia entre las dos lecturas pues la evaporación será más rápida y el enfriamiento más pronunciado.

Existen diferentes formas de expresar la cantidad de vapor de agua contenida en el aire: en términos absolutos, como el contenido absoluto de vapor de agua en el aire, llamada Humedad Absoluta (HA) y medida, en cantidad de vapor de agua por unidad de masa de aire y en términos relativos, porcentaje de vapor de agua que se tiene respecto de la saturación a una temperatura dada, llamada Humedad Relativa

(HR), expresada en porcentaje. La mayoría de los índices térmicos están referidos a la HR, esta se obtiene llevando los datos de la temperatura del bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo a un Diagrama de aire húmedo conocido como Diagrama Psicrométrico.

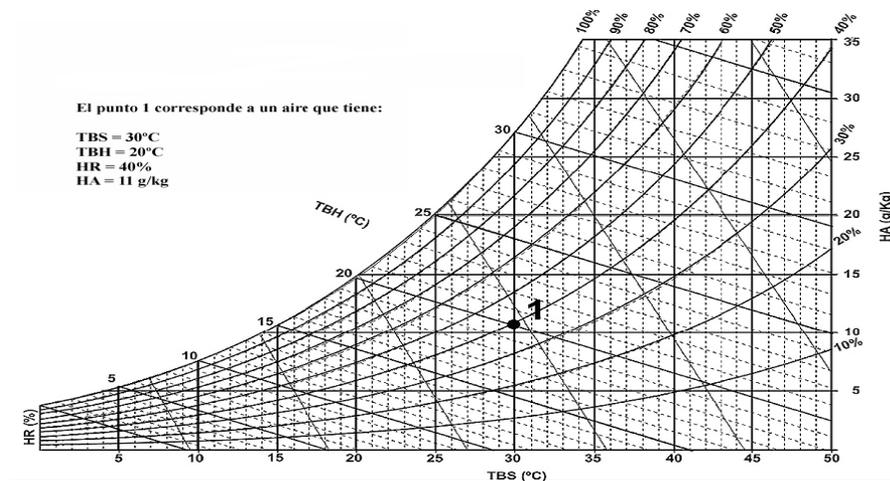


Figura 2-11 Diagrama Psicrométrico (Fuente: Rosales 2008)

Otra manera es expresar la humedad del aire en valores de presión, referida a la presión atmosférica, se denomina Presión de vapor de Agua, expresada en unidades de masa por área.

2.2.1.1.3 Velocidad del aire

El roce del aire afecta la sensación térmica de las personas, influyendo en los procesos de disipación de calor corporal al ambiente de dos maneras, modificando la cantidad de calor intercambiado por convección y aumentando la eficacia de la evaporación del sudor.

Las corrientes de aire se hacen perceptibles cuando sobrepasa los 0.3 m/s, por debajo de estas velocidades no se percibe el movimiento del aire, cualquiera que sea el estado higro-térmico del aire. Mientras que para velocidades por encima de los 2.0 m/s cualquier aumento deja de tener influencia en el confort. La figura 2-12,

ilustra como más allá de esa velocidad el movimiento del aire deja de subsanar cualquier aumento de temperatura. La razón es que el enfriamiento producido por las corrientes de aire es más efectivo cuanto menor sea la temperatura del aire con respecto a la temperatura de la piel.

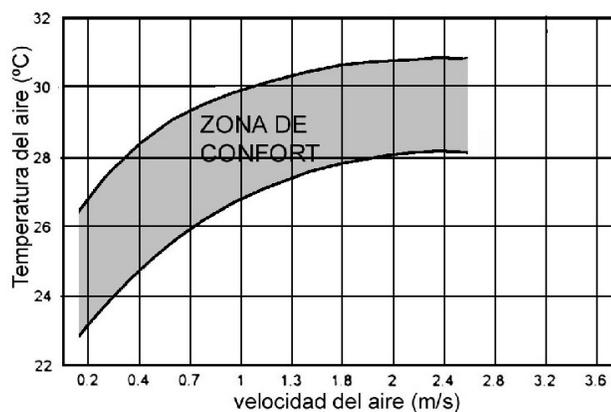


Figura 2-12 Relación entre el confort, temperatura del aire y velocidad del aire (Rosales, 2008).

La velocidad del aire son expresadas en unidades de longitud por tiempo (m/s), y se mide con un instrumento llamado anemómetro. Estos pueden ser de aspas o de hilo caliente. Para realizar mediciones puntuales, además, se pueden utilizar anemógrafos y estaciones meteorológicas portátiles para registros continuos, las primeras obtienen estos registros en bandas mientras que las últimas están conectadas directamente a computadoras instaladas con programas específicos para procesar la información.

En la figura 2-13 se observan dos tipos de anemómetros los dos de la izquierda son anemómetros de aspas, mientras que el que se encuentra en la derecha es un anemómetro de hilo caliente.



Figura 2-13 *Distintos tipos de anemómetro* (Fuente: Rosales 2007)

2.2.1.1.4 Entorno radiante

La sensación térmica se ve afectada por las diferencias de temperatura de los objetos que rodean a un individuo, aun sin estar en contacto directo con él, ya que estos absorben y emiten radiación electromagnética, la cual, al llegar a la piel, se convierte en calor. El intercambio neto radiactivo entre dos cuerpos depende de su relación geométrica y es proporcional a la diferencia de temperatura y a su emisividad.

La temperatura radiante media, es la forma de evaluar en la práctica el entorno radiante. A la temperatura radiante media se le puede calcular a partir de la lectura de un termómetro normal cuyo bulbo está colocado dentro de una esfera metálica de 10 cm de diámetro pintada de negro mate. Al resultado de esta lectura se le denomina temperatura de bulbo negro (TBN).

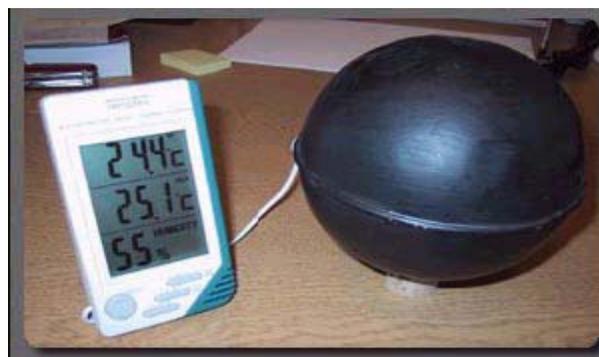


Figura 2-14 *Equipo para medir TBN* (Fuente: Rosales 2008)

Al conocer la temperatura de bulbo negro se procede a calcular la temperatura radiante media, existen diversas formulas para ello, siendo la más simple (aunque no tan precisa), la que considera que la temperatura de bulbo negro es un promedio entre la temperatura radiante media y la temperatura del bulbo seco (se supone ausencia de corrientes de aire):

$$TBN = \frac{TRM + TBS}{2} \Rightarrow TRM = 2TBN - TBS$$

Donde: TBN: Temperatura de bulbo negro [°C]
 TRM: Temperatura radiante media [°C]
 TBS: Temperatura de bulbo seco [°C]

La temperatura radiante media puede convertirse en uno de los más importantes parámetros de confort en zonas cálidas y soleadas a causa de las altas temperaturas que llegan a alcanzar los objetos, sumando a esto la emisividad de la piel (0,97) y a la facilidad con la que absorbe la radiación electromagnética.

2.2.1.2 Parámetros circunstanciales

Las actividades, la vestimenta y el tiempo de permanencia en un ambiente constituyen parámetros de gran importancia para el confort térmico.

Las actividades tienen una relación directa con el metabolismo, todo individuo está constantemente quemando los alimentos, generando calor, conocido como calor metabólico. El calor metabólico se mide en unidades energéticas como el Vatio [W].

Al calor metabólico se le expresa por cada metro cuadrado [m²] de superficie de piel, a fin de tomar en cuenta la diferencia de metabolismo de un individuo a otro. La unidad utilizada para medir el calor generado por el metabolismo es el Met, equivale a 58 W/m².

En las tablas 1 y 2 (ver anexos), se presentan valores aproximados del calor metabólico generado en función de la actividad que se esté realizando. Estos valores consideran que la persona tiene un área de piel de 1 m^2 . Existen en la red diferentes herramientas destinadas al cálculo del aislamiento térmico de la ropa, a partir de combinaciones.

La vestimenta altera de manera importante los intercambios de calor que ocurren entre la piel y el ambiente, dando lugar a un efecto térmico aislante. Para estudiar la influencia que tiene la ropa sobre la sensación térmica, esta se clasificará en función de su grado de aislamiento térmico, las unidades utilizadas para medir el aislamiento térmico son $\text{m}^2\text{°C/W}$, pero en el caso de la ropa se usa la unidad llamada Clo (del inglés, “clothes”), 1 Clo equivale a un aislamiento térmico de $0.155 \text{ m}^2\text{°C/W}$. Para calcular los Clo correspondientes a un atuendo, se suma el valor de Clo de cada pieza que lo conforma, comenzando con que una persona desnuda tiene Clo=0.

El organismo requiere de unos 15 minutos para realizar su labor de autorregulación, es por ello que el tiempo de permanencia cobra importancia solo cuando se analiza el confort en los lugares donde los individuos permanecen durante mucho tiempo.

2.2.1.3 Parámetros fisiológicos

La percepción del entorno térmico se ve afectada por factores como la edad o el sexo, debido principalmente a las variaciones en la producción metabólica. En términos generales, las personas de edad avanzada y las de sexo femenino tienen una menor producción de calor metabólico, resultando más lento el proceso de estas personas a adaptarse a los cambios de las condiciones térmicas. Los resultados obtenidos con los estudios realizados al respecto son difíciles de generalizar debido a las variaciones continuas que los individuos experimentan en sus procesos hormonales y en su salud, afectando a su vez el metabolismo y la percepción del entorno térmico.

2.2.1.4 Parámetros psicológicos y sociológicos

La sensación de confort térmico esta presumiblemente relacionada con las expectativas psicológicas ante un ambiente térmico determinado en el clima donde se habita, disminuyendo la intensidad con la que el individuo percibe el ambiente. Por otro lado, igualmente se presume un proceso fisiológico de adaptación genética de los grupos humanos al clima donde se desenvuelven. Sin embargo, se han realizado estudios de laboratorio en cámaras climáticas a individuos originarios de climas diferentes pero viviendo en la misma zona geográfica que han dado como resultado, prácticamente la misma apreciación de confort, lo que pareciera darse es una adaptación de los mecanismos sensoriales y termorreguladores del cuerpo como respuesta a ciertas condiciones térmicas, esta adaptación puede tomar días o semanas.

2.2.2 Temperatura operativa (TO)

Desarrollada por los investigadores Winslow, Herrington y Gagge (Fuente: Koenigsberger) en Estados Unidos, puede ser interpretada como un índice de confort. Esta temperatura se define como la temperatura de bulbo seco de un recinto uniforme (donde TBS es igual a TRM) y sin corrientes de aire en el cual una persona intercambia la misma cantidad neta de calor por convección y radiación que en el recinto real considerado (el cual puede presentar corrientes de aire y donde TBS es diferente a la TRM). La idea de tal concepto es identificar con una temperatura de bulbo seco específica (considerada bajo condiciones específicas) el intercambio neto convectivo y radiativo que se produce en un ambiente cualquiera. De esta forma se engloban los efectos de la temperatura del aire, la temperatura radiante media y la velocidad del aire.

Calcular la temperatura operativa con exactitud, puede resultar muy complejo, ya que implica conocer las variables que regulan el intercambio de calor convectivo y

radiactivo entre el cuerpo humano y su entorno. Sin embargo, se puede apelar a la siguiente fórmula aproximada, siempre que la velocidad del aire no exceda 1 m/s:

$$TO = aTBS + (1 - a) \times TRM$$

$$\text{con : } a = 0.5 + 0.25v$$

Donde:

TO: Temperatura operativa [°C] y

v : velocidad del viento [m/s]

Se definen los valores deseables de la temperatura operativa con base en la sensación térmica que manifiesten las personas en experiencias realizadas para tal fin, además se debe indicar cuánto valen el resto de los parámetros de confort.

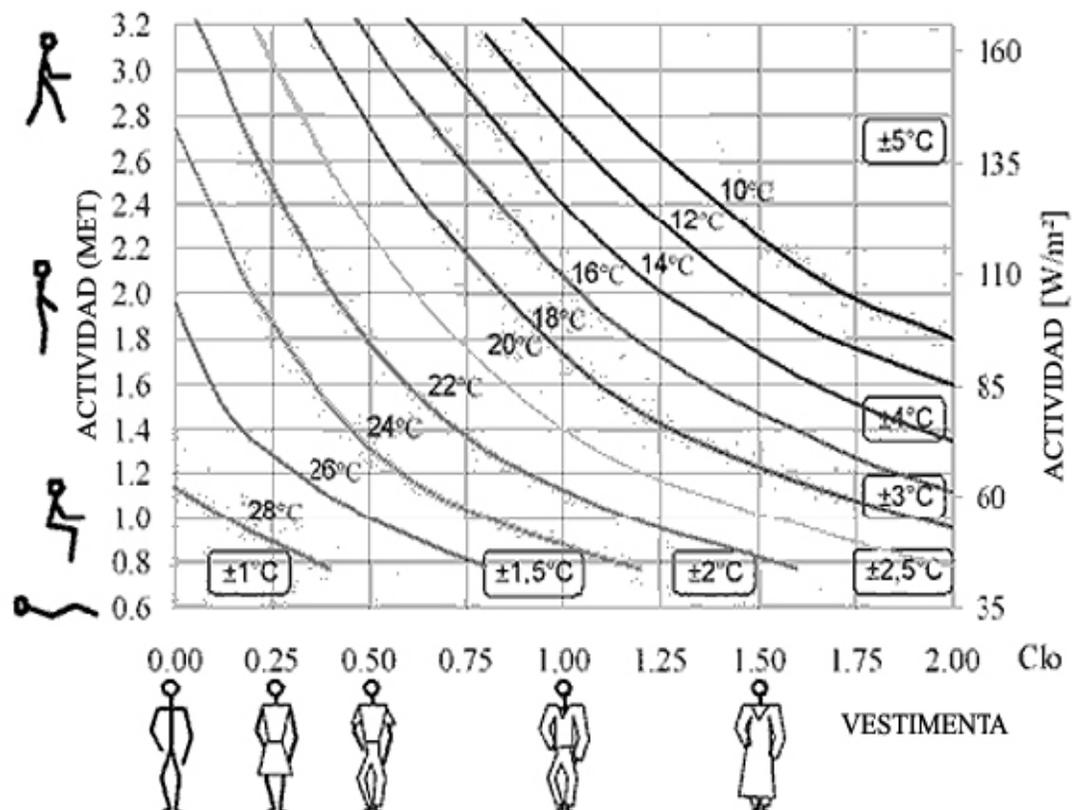


Figura 2.15 Temperatura operativa óptima en función de la vestimenta y la actividad

HR=50%(Fuente: Rosales2008)

2.2.3 Índices de confort

La sensación térmica se valora en la práctica a través de los llamados índices de confort. Estos surgen de la necesidad de estimar los efectos combinados de los parámetros que intervienen en el intercambio de calor que ocurren entre el cuerpo humano y el ambiente sobre las respuestas fisiológicas y sensoriales de las personas a fin de expresar cualquier combinación a través de un valor único.

La definición de los rangos en que estos índices se corresponden con las condiciones de confort térmico se hace sobre la base estadística, ya que las personas no son sujetos de experimentación semejantes, constantes y lógicos.

Los índices de confort conforman los requerimientos térmicos, se han modelado decenas de ellos, que combinan de distintas formas los efectos de los parámetros físicos, los más conocidos son la Temperatura Efectiva Estándar, el PMV (“Predicted Mean Vote”, cuya traducción aproximada sería “voto medio pronosticado”) y los llamados modelos de adaptación. Estos son realizados para que los espacios diseñados cumplan con los valores admisibles establecidos por ellos.

2.2.3.1 Temperatura Efectiva Estándar (TES)

El índice de temperatura efectiva estándar (TES) (en inglés SET: “Standard Effective Temperature”) fue concebido en los años 70 por los investigadores Gagge y Nishi (partiendo del índice de temperatura efectiva planteado por Houghton y Yagloo en 1923), está definido como la temperatura de bulbo seco de un recinto uniforme, sin corrientes de aire y humedad relativa igual al 50% en el cual una persona portando ropa ligera y realizando una actividad sedentaria, tendrían luego de una hora, el mismo intercambio de calor neto por radiación, convección y evaporación que el ambiente real considerado.

Este índice representa la combinación variable de los principales parámetros de confort. La premisa es que cualquier condición ambiental pueda valorarse por

medio de un valor de temperatura efectiva estándar relacionada con una sensación térmica específica. Esta relación fue investigada por medio de encuestas, dando como resultado la siguiente escala:

<u>TES (°C)</u>	<u>Sensación de temperatura</u>	<u>Sensación de confort</u> <u>Límite tolerable</u>	<u>Procesos reguladores</u> <u>Evaporación del sudor ineficaz</u>
40 --	Muy caliente	Malestar acentuado	Mucho sudor
35 --	Caliente	Malestar	Sudor visible
30 --	Calido	Malestar leve	
25 --	Ligeramente calido		
20 --	Neutro	Comfortable	Ausencia de sudor
15 --	Fresco		
10 --	Ligeramente frío	Malestar leve	Acciones conscientes de adaptación
	Frío		
	Muy frío	Malestar	Temblores

*Figura 2-16. Respuesta humana frente a diferentes temperaturas efectivas estándar
(Fuente: Rosales 2008)*

Bajo esta premisa se trazaron líneas de igual temperatura efectiva estándar y subsiguientemente zonas de confort apelando al diagrama psicrométrico y al concepto de temperatura operativa.

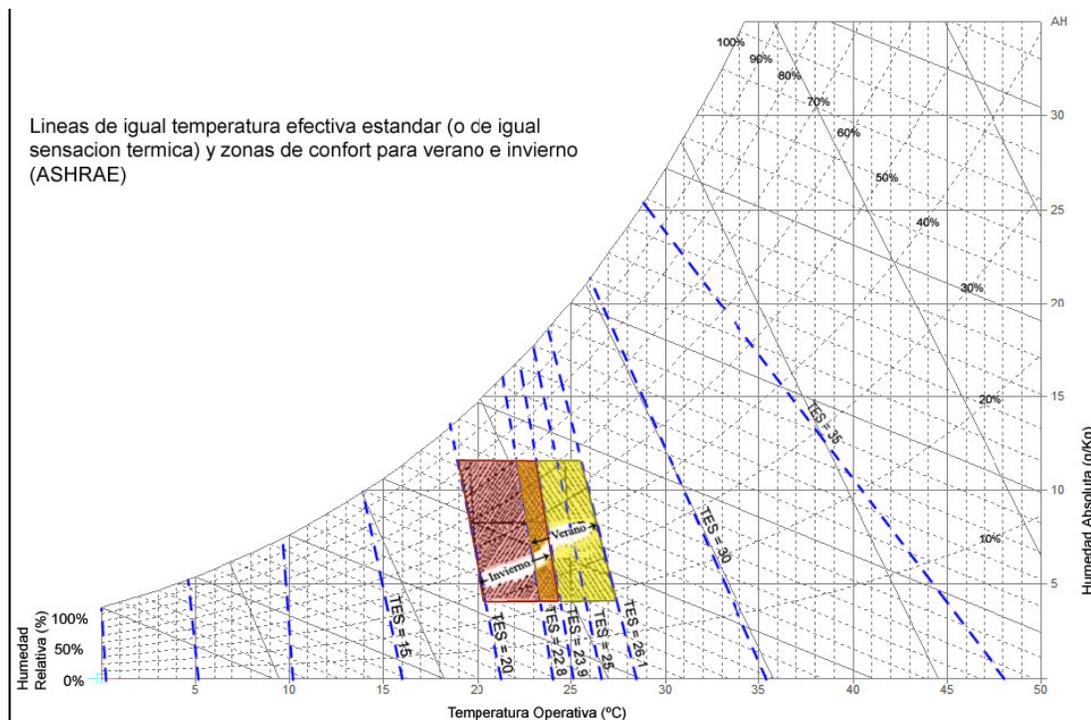


Figura 2-17 Líneas de igual temperatura efectiva estándar y zonas de confort para invierno y verano
(Fuente: Rosales 2008)

La temperatura estándar fue la base de la norma ANSI/ASHRAE 55-1981

2.2.3.2 Índice PMV (“Predicted Mean Vote”) o Índice de Fanger

Propuesto por el investigador Ole Fanger, consiste en una compleja ecuación que demanda la introducción de la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad, la velocidad del aire, la resistencia térmica de la ropa y el metabolismo, entre otras variables. Obteniéndose una escala que varía de -3 a +3 indicando la sensación térmica correspondiente a cada valor. En la figura #2-15, se observa la ecuación establecida para calcular el PMV, si bien esta es bastante compleja, esta se puede programar en una computadora aplicándose sin dificultad.

$$\begin{aligned}
PMV = & \left[0,350 \exp\left(-0,042\left(\frac{M}{A_{DU}}\right)\right) + 0,032 \right] \times \left[\left(\frac{M}{A_{DU}}\right)(1-\eta) - 0,35 \left[43 - 0,061\left(\frac{M}{A_{DU}}\right)(1-\eta) - P_v \right] \right] \\
& - 0,42 \left[\left(\frac{M}{A_{DU}}\right)(1-\eta) - 50 \right] - 0,0023 \left(\frac{M}{A_{DU}}\right)(44 - P_v) - 0,0014 \left(\frac{M}{A_{DU}}\right)(34 - t_a) - 3,4 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4] \\
& + 3,4 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{mrt} + 273)^4] + 3,4 \times 10^{-8} f_{cl}^2 h_c (t_{cl} - t_a)]
\end{aligned}$$

Donde:

M/A_{DU} : calor metabólico [kcal/hm²].

P_v : presión de vapor, [mmHg].

η : eficiencia mecánica.

t_a : temperatura del aire, [°C].

t_{cl} : temperatura de la superficie de la vestimenta, [°C].

f_{cl} : factor de vestimenta.

h_c : coeficiente convectivo, [W/m²°C].

t_{mrt} : temperatura media radiante, [°C].

En sus estudios Fanger, confirmó que bajo ninguna circunstancia el 100% de las personas manifestaron estar completamente satisfechas con condiciones específicas, proponiendo un complemento al PMV, llamado PPD (en inglés “Predicted Percent of Dissatisfied”), este expresa el porcentaje de individuos descontentos en función del PMV.

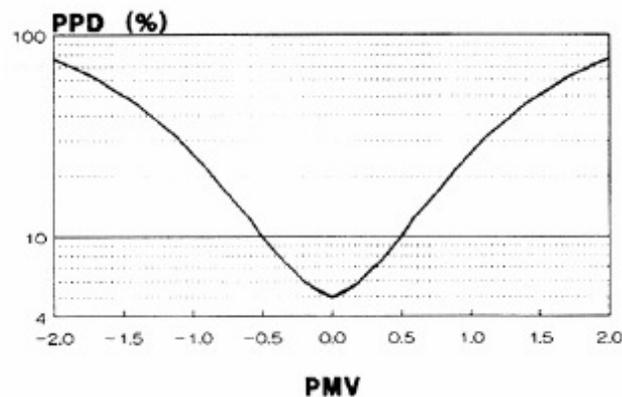


Figura 2-18. PDD Porcentaje de personas inconformes con el ambiente térmico en función del PMV
(Fuente: Rosales2008)

Este índice fue reglamentado en la norma ISO/CEN 7730-1993.

2.2.3.3 Modelos de adaptación

A los índices presentados anteriormente se les califica como estáticos, ya que asumen al individuo como un receptor pasivo del estímulo térmico, cuya respuesta solo depende de procesos físicos entre él y su entorno y de mecanismos fisiológicos, en los casos que se encuentran fuera de las hipótesis y el contexto en que fueron definidos se han mostrado algo inexactos. Para cubrir esto surgen los llamados modelos de adaptación, los cuales contemplan factores como los demográficos (sexo, edad, estatus económico), de contexto (uso de la edificación, clima) y cognitivos (actitudes, reacciones, preferencias, expectativas), aunque los resultados de estos modelos han sido aleatorios, son actualmente objeto de atención debido a los factores que despuntan objetivamente como influyentes como las expectativas ante determinado clima, estos modelos permiten flexibilizar la rigidez de los modelos estáticos, plantean índices adecuados a casos particulares y amplían el campo de acción de las normas.

El confort está influenciado por procesos de adaptación, que son activados por las personas para acomodarse a determinadas condiciones térmicas, estos modelos plantean índices menos restrictivos, siendo oportunos para el diseño de edificaciones

que funcionan por medios pasivos, es decir que no son climatizadas con equipos electromecánicos, en las cuales las condiciones ambientales son fluctuantes por responder a las fluctuaciones del clima de la zona.

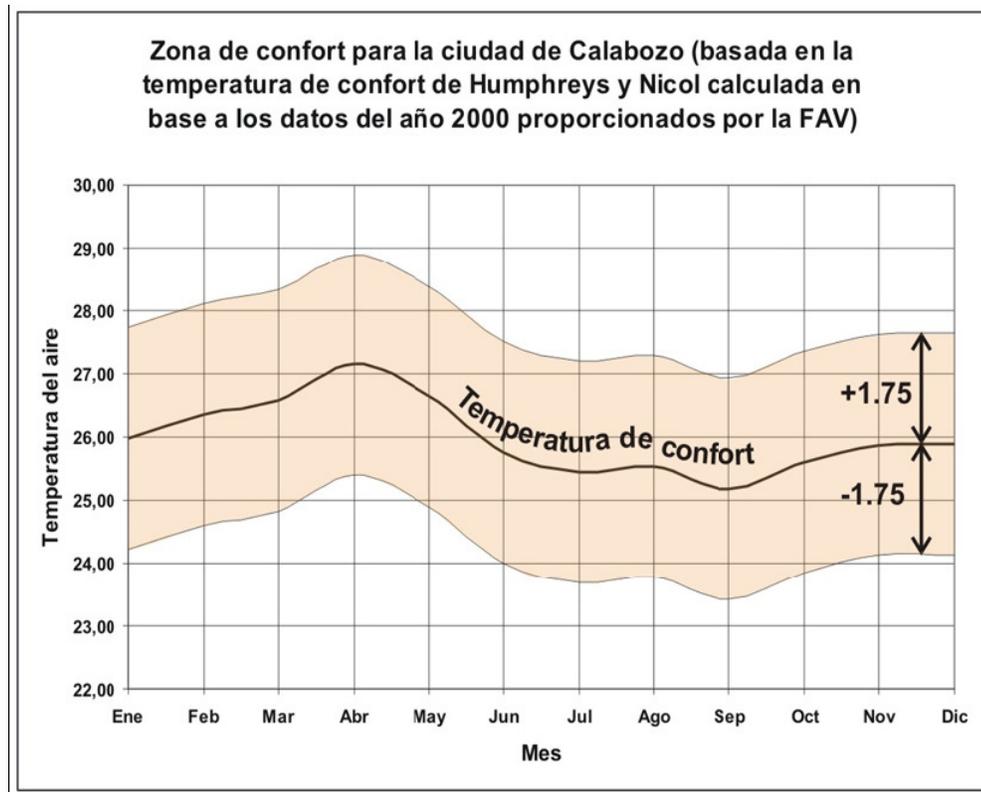
Los modelos de adaptación son de carácter empírico debido a esto, cuando se realizan experimentaciones se deben realizar una gran cantidad de encuestas de campo y múltiples métodos estadísticos relativos a las acciones de adaptación y la percepción que tienen las personas del clima en el que habitan. Son varios los modelos que se han derivado de estos trabajos, algunos definen una temperatura neutral dependiente de las condiciones climáticas en un periodo determinado.

A finales de los 70 fue propuesto por Humphreys, uno de estos índices, el cual consiste en definir la temperatura neutral en función de la temperatura media exterior para edificaciones climatizadas por medios pasivos:

$$T_n = 17,6 + 0,31T_{media}$$

La temperatura media varia entre 18,5 y 28,5 °C, si la temperatura se encontrara fuera de este rango, se toma uno de estos valores limites dependiendo si esta por encima o por debajo.

Se acepta un rango de $\pm 1,75^\circ\text{C}$ cuando el calculo se hace con la temperatura media mensual, a fin de atender la variabilidad de respuesta de las personas para adaptarse a un ambiente, el rango es de $\pm 2,0$ cuando se calcula con la temperatura media anual. En la siguiente figura se observa la banda de confort realizada para la ciudad de calabozo.



*Figura 2-19 Temperatura de confort mes a mes según Humphreys para la ciudad de Calabozo
(Fuente: Rosales 2007)*

Con los valores de temperatura neutral y con ayuda del índice de temperatura estándar se pueden representar en el diagrama psicrométrico las zonas de confort mensuales o anuales dependientes del clima.

2.3 TRANSFERENCIA DE CALOR

El calor se transfiere con la interacción de un sistema con su entorno, teniendo una definición sencilla y general. Incropera (1999):

“La transferencia de calor (o calor) es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas”

Debe existir una diferencia de temperaturas entre dos o más cuerpos para que esta transferencia pueda ocurrir. Y existen diferentes maneras para que esta transferencia se realice, a estos procesos de transferencia de calor se les conoce como modos. Esta siempre se realizará del cuerpo de mayor temperatura al cuerpo de menor temperatura, tomando en cuenta el modo en que ocurre la transferencia de calor se le cataloga como conducción, convección o radiación.

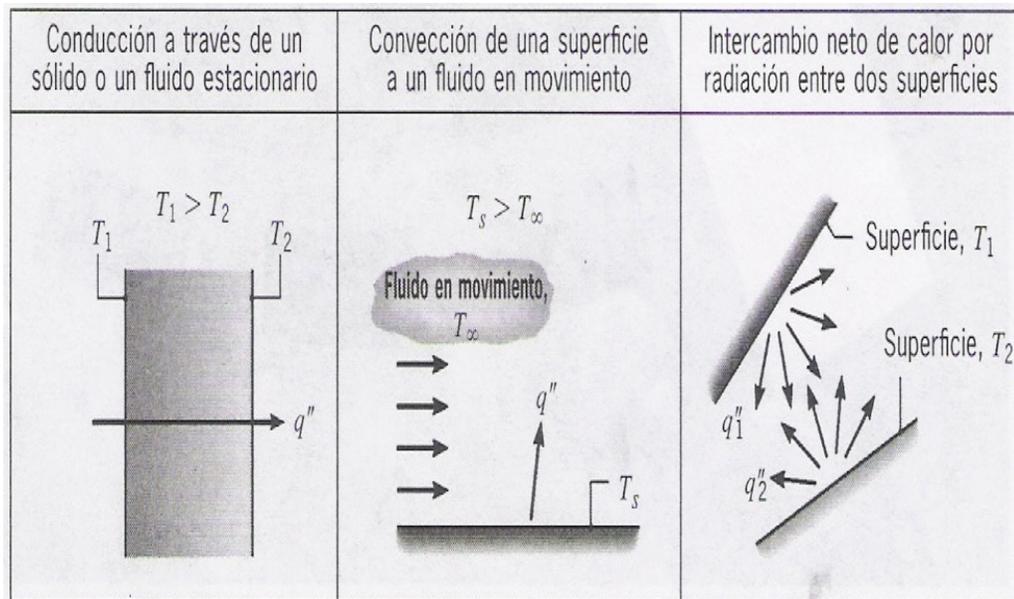


Figura 2-20. Modos de transferencia de calor (Incropera, 1999)

2.3.1 Conducción

La conducción o transferencia de calor por difusión es el transporte de energía cuando existe un gradiente de temperatura, utilizando un medio estacionario, que puede ser un fluido o sólido. Teniendo como mecanismo físico la actividad atómica y molecular aleatoria, produciéndose la transferencia de calor a través de un medio.

La transferencia de calor por conducción se realiza a través de la masa del propio cuerpo. Si el calor se transmite con facilidad a través de un material a este se le denomina conductor, si por el contrario no transfiere calor con facilidad se le denomina aislante.

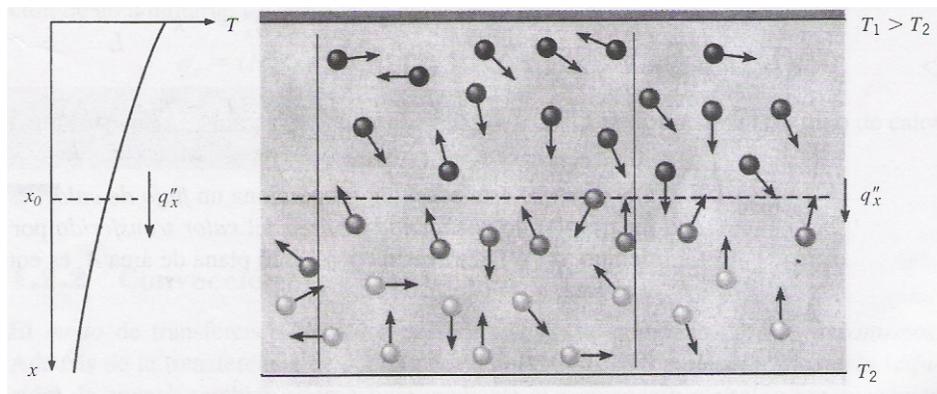


Figura 2-21. Asociación de la transferencia de calor por conducción con la difusión de energía debida a la actividad molecular (Incropera, 1999)

Se describe cuantitativamente la conducción como la tasa de flujo de calor con el tiempo en un material con una diferencia de temperatura dada. Experimentalmente se ha establecido que la tasa de flujo de calor a través de una sustancia depende de la diferencia de temperatura de sus fronteras, dependiendo también de la forma y tamaño del objeto.

Se ha comprobado que la tasa de flujo de calor a través de un material es directamente proporcional al área superficial del material e inversamente proporcional a su espesor.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto \frac{A\Delta T}{d}$$

Se introduce una constante k , llamada constante de conductividad térmica, para caracterizar la capacidad del material para conducir el calor, cuanto mayor es el valor de k para un material más rápidamente conducirá el calor. Las unidades de k son $J/(m \cdot s \cdot ^\circ C) = W/(m \cdot ^\circ C)$.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{kA\Delta T}{d}$$

2.3.2 Convección

Este modo de transferencia de calor ocurre al estar en contacto una superficie y un fluido que se mueve sobre esta a diferentes temperaturas.

$$q = \bar{h}A_s(T_s - T_\infty)$$

Sabiendo entonces que la transferencia de calor por convección es igual a la multiplicación del coeficiente de convección promedio por el área superficial por la diferencia de temperaturas entre el fluido y la superficie.

La convección puede ser natural o forzada dependiendo del movimiento del fluido.

2.3.2.1 Capa límite

Cuando las partículas de un fluido tienen contacto con una superficie, adquieren velocidad cero, lo que trae como consecuencia retardar el movimiento de las partículas en la siguiente capa y así sucesivamente.

Se pueden presentar tres capas límites: la capa límite de velocidad o hidrodinámica se caracteriza por la presencia de un gradiente de velocidad y

esfuerzos cortantes y una extensión $\delta(x)$, la capa límite térmica caracterizada por gradientes de temperatura y la transferencia de calor y tiene una extensión $\delta_t(x)$, por último tenemos, la capa límite de concentración tiene una extensión de $\delta_c(x)$ caracterizada por gradientes de concentración y transferencia de masa. Las manifestaciones principales son la fricción superficial, la transferencia de calor por convección y la transferencia de masa por convección, respectivamente.

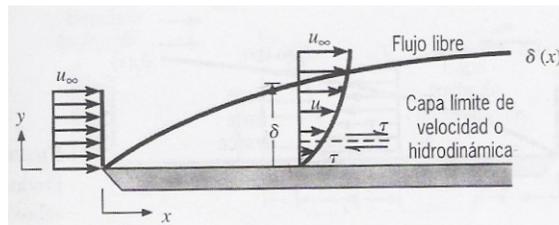


Figura 2.22 a. Desarrollo de la capa límite de velocidad o hidrodinámica sobre placa plana. (Incropera, 1999)

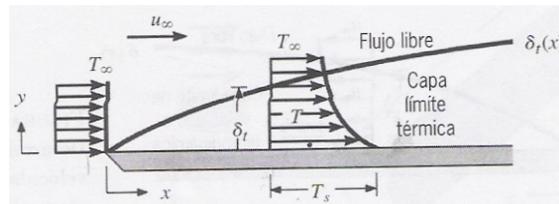


Figura 2.22 b Producción de la capa límite térmica sobre una placa plana isotérmica. (Incropera, 1999)

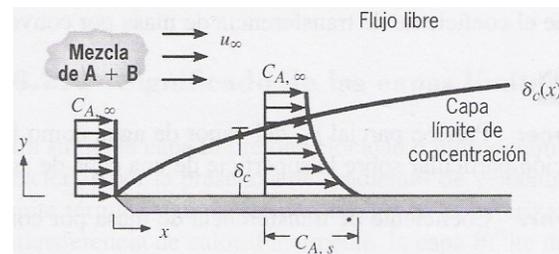


Figura 2.22 c. Evolución de la capa límite de concentración de especies sobre una placa plana. (Incropera, 1999)

En rara ocasión las tres capas límites se presentan juntas, sin embargo debe tener en cuenta que estas crecen de maneras diferentes.

Otra de las consideraciones que debe tener en cuenta al momento de realizar un estudio de transferencia de calor por convección es determinar si el flujo es laminar o turbulento en la capa límite ya que depende en gran medida de cuál de estas condiciones sea la que exista.

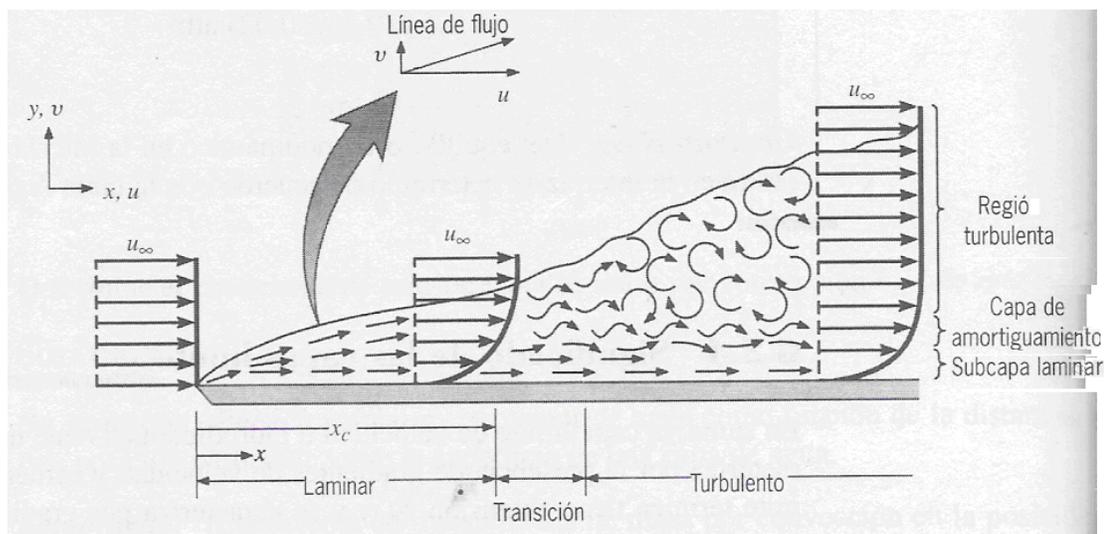


Figura 2.23. Desarrollo de la capa límite hidrodinámica sobre una placa plana (Incropera, 1999)

2.3.3 Radiación

Todo material emite radiación electromagnética, cuya intensidad depende de la temperatura a la que se encuentre. La radiación se origina por emisiones de la materia y para transferirla no requiere presencia de materia alguna. Para transportar esta energía, una teoría la considera como la propagación de una acumulación de partículas llamadas cuantos o fotones, además también puede verse como la propagación de ondas electromagnéticas. De cualquier manera se le puede atribuir propiedades de las ondas, como longitud de onda y frecuencia.

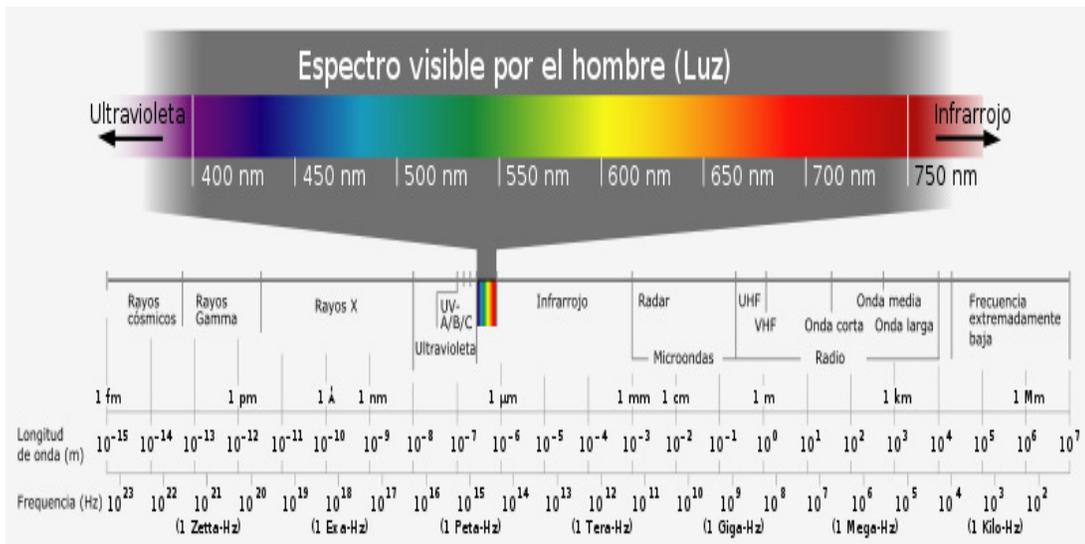


Figura 2-24. Espectro de la radiación electromagnética

Para cuantificar de forma correcta la transferencia de calor por radiación, debemos tomar en cuenta las dos características de la radiación, su naturaleza espectral y la segunda que se relaciona con su direccionalidad.

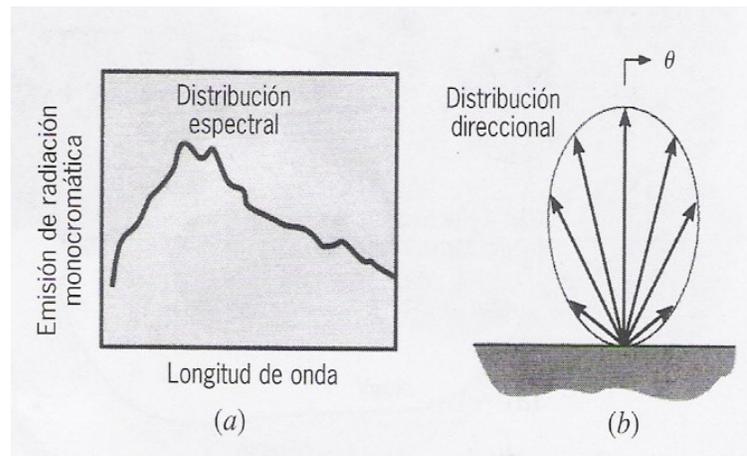


Figura 2-26. Radiación emitida por una superficie, (a) distribución espectral. (b) Distribución direccional. (Incropera, 1999)

2.4 MODOS DE INTERCAMBIO DE CALOR ENTRE EL CUERPO HUMANO Y EL AMBIENTE

La conducción, la convección y la radiación son los tres mecanismos básicos mediante los cuales el cuerpo humano intercambia calor con el ambiente, ya sea recibiendo o emitiéndolo hacia él. La conducción y la convección son intercambios de calor sensible mientras que la radiación implica una transformación de energía.

Existe un cuarto mecanismo mediante el cual se lleva a cabo el intercambio de calor del cuerpo humano al ambiente, la evaporación, este proceso implica un cambio de fase en el que se disipa la energía térmica.

No solo la piel está en contacto con el aire, parte de los órganos internos, en particular los relacionados con la respiración, cuando se respira se produce un intercambio de calor por convección (en las vías respiratorias y pulmones), además sucede una evaporación interna (evaporación respiratoria) haciendo al aire espirado más húmedo que el inhalado.

El cuerpo humano no realiza intercambios térmicos con el aire sin intermediarios, ya que las personas en general se encuentran vestidas. El paso del calor a través de las partes cubiertas está condicionado por múltiples factores, particularmente la resistencia térmica de la prenda.

La interacción térmica entre el cuerpo humano y el ambiente son los intercambios de calor con el aire (convección), los intercambios radiactivos con las superficies del entorno (radiación) y los intercambios de calor latente producidos por la evaporación del sudor. Su importancia relativa varía según la persona, el ambiente, la actividad y la vestimenta, la repartición en promedio es de: evaporación 30%, radiación 30%, convección 30% y respiración 10%.

2.4.1 La producción de calor interno

El cuerpo humano es exotérmico, genera calor quemando constantemente los alimentos, el calor producido varía con la actividad que se realiza, mientras más agitada sea la actividad realizada mayor será el calor que se produce, a este calor se le conoce como calor metabólico.

Los mecanismos descritos pueden cuantificarse mediante fórmulas diversas desarrolladas por los especialistas en bioclimatología humana, las cuales dan la magnitud de los intercambios de calor en cada caso (comúnmente en vatios). En la tabla 3, se muestran las expresiones utilizadas para calcular estos mecanismos.

Tabla 2 Ecuaciones para calcular la producción de calor interno

Metabolismo:	$M = Met \cdot A_c \cdot (1 - n)$
Evaporación en la piel:	
Difusión de vapor (Perspiración)	$q_{Dif} = h_{Dif} A_c (PV_{SatTpiel} - PV_{Taire})$
Sudor	$q_{Sud}^{Max} = h_{Vest} A_c (PV_{SatTpiel} - PV_{Taire}); \quad w = \frac{E_{Sud}}{E_{Sud}^{Max}}$
Respiración:	
Evaporación	$q_{Re\ sp}^{Evap} = 0,0052 M C_{lv} (h_{s\ exp} - h_s)$
Convección	$q_{Re\ sp}^{Conv} = 0,0052 M C_a (T_{exp} - T_a)$
Radiación:	$q_{rad} = h_{rad} A_c F_{vest} (T_{vest} - T_{rad})$
Convección:	$q_{conv} = h_{conv} A_c F_{vest} (T_{vest} - T_a)$

2.4.2 Balance térmico del cuerpo humano

Cada uno de los procesos de producción e intercambio térmico entre el cuerpo humano y su entorno, puede estimarse usando unidades de potencia energética. Si todos estos procesos se suman en un momento dado, se puede saber si la persona se calienta o se enfría, esta ecuación se le conoce como ecuación del balance térmico:

$$M \pm q_{\text{conducción}} \pm q_{\text{convección}} \pm q_{\text{radiación}} \pm q_{\text{respiración}} \pm q_{\text{evaporación}} = \Delta$$

Si el resultado es:

- Negativo, es decir, $\Delta < 0$, indica que el individuo se está enfriando.
- Positiva, si $\Delta > 0$, el individuo se está calentando.
- Es nulo, es decir, $\Delta = 0$, se encuentra en equilibrio térmico.

En donde:

M , representa la producción de calor por lo que siempre es positivo.

Los intercambios de calor vienen dados por:

$q_{\text{conducción}}$, los intercambios conductivos.

$q_{\text{convección}}$ la convección con el aire.

$q_{\text{radiación}}$ los intercambios radiactivos con el entorno.

$q_{\text{respiración}}$ los intercambios respiratorios y,

$q_{\text{evaporación}}$ es la evaporación del sudor, que es una pérdida de calor por lo que siempre es negativo.

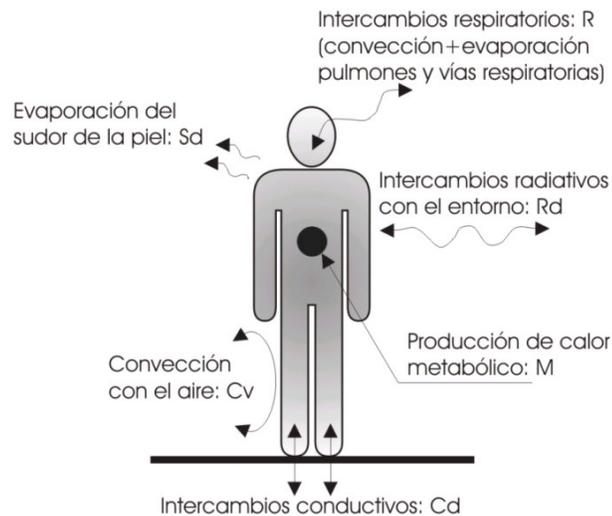


Figura 2-26. **Intercambios térmicos entre el cuerpo y el ambiente.** (Fuente: Rosales 2008)

Si bien el equilibrio térmico es una de las condiciones necesarias para lograr el confort térmico, no es suficiente para garantizarlo.

El organismo no es pasivo ante las condiciones térmicas, este posee mecanismos de autorregulación de la temperatura interna dirigidos a lograr el equilibrio bajo condiciones desfavorables, ya que los órganos internos requieren una temperatura de 37 °C para funcionar y es el fin de estos mecanismos mantenerla.

El principal medio de transporte del calor corporal es la sangre, cuando las condiciones ambientales son calurosas, ocurre la vasodilatación, siendo este el primer mecanismo de autorregulación que es activado, en caso de que la temperatura del ambiente siga aumentando se activan las glándulas sudoríparas, dando lugar a la perspiración, el fin es que el equivalente al calor latente de vaporización sea tomado del calor sensible de la piel a fin de enfriarla. Cuando el ambiente es frío el primer mecanismo en ser activado es la vasoconstricción, si aumenta el frío o en este caso disminuye la temperatura en el ambiente se generan convulsiones musculares a fin de aumentar el calor metabólico. A mayor frío el cuerpo deja de irrigar sangre a las zonas del cuerpo más prescindibles para la vida, como es el caso de las extremidades, pudiendo ocurrir en estas la congelación localizada.

Existen acciones conscientes de adaptación dirigidas a mantener la temperatura interna a niveles tolerables son:

Para climas cálidos: tomar agua, desvestirse o encender un ventilador o cualquier sistema de climatización activa.

Para climas fríos: el movimiento con el fin de aumentar el calor metabólico o frotarse la piel para generar calor.

2.4.2.1 Factores de ganancias y pérdidas del cuerpo humano con el ambiente

Ganancias:

- Por el metabolismo (producción energética por el consumo y digestión de alimentos).
- Por conducción (contacto directo con cuerpos más calientes que la piel humana)
- Por convección (por movimiento del aire cuando este se encuentra más caliente que la piel).
- Por radiación (radiación directa e indirecta del sol).

Pérdidas:

- Por conducción (contacto directo con cuerpos más fríos que la piel humana).
- Por convección (por el movimiento del aire si este se encuentra más fríos que la piel).
- Por radiación (radiación al cielo nocturno y superficies adyacentes más frías que la piel).
- Por evaporación (dependiendo de la humedad y movilidad del aire).

2.4.3 Balance térmico del cuerpo humano: Adaptación al calor

A través del consumo y digestión de alimentos, se obtienen los requerimientos energéticos. Según las actividades realizadas varía la energía metabólica producida. Esta energía es convertida en calor y en trabajo muscular, este último es insignificante por lo que no se toma en cuenta para los cálculos de intercambio de calor.

Este calor es desprendido al ambiente por tres procesos: convección, radiación y evaporación (la transferencia de calor por conducción no se toma en cuenta por ser insignificante). El porcentaje de las pérdidas por cada proceso depende de las condiciones ambientales, en el gráfico 2-27 se pueden observar los porcentajes promedios de estas pérdidas.

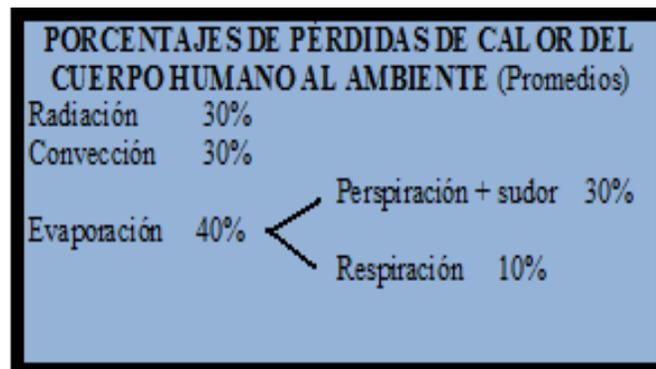


Figura 2-27. Porcentaje de pérdida de calor del cuerpo humano (Fuente: Sosa, 1999)

2.4.3.1 Pérdidas por radiación

Estas pérdidas dependen de la temperatura del cuerpo humano y de la temperatura de las superficies adyacentes. Las características térmicas de los materiales y la insolación solar determinan la cantidad de calor radiado por estas superficies.

Se deben controlar las temperaturas de techos y paredes en climas cálidos, debido a que la pérdida de calor corporal puede anularse o invertirse con temperaturas superficiales similares o mayores a la de la piel.

Los flujos de transferencia de calor por radiación son distintos en la superficie del cuerpo humano ya que se encuentran áreas cubiertas y descubiertas que varían el flujo.

2.4.3.2 Pérdidas por convección

El intercambio de calor entre el cuerpo humano y el ambiente ocurre por la circulación del aire alrededor del cuerpo humano. Solo hay pérdida de calor por este medio cuando el aire circundante tenga una temperatura menor a la de la piel. Esta pérdida se incrementara al aumentar la velocidad del aire circundante y por una mayor diferencia entre las temperaturas del cuerpo y el aire.

Una formula simplificada que permite calcular el intercambio por convección y radiación entre el cuerpo y el aire fue propuesta por Givonni y Bernier-Nir.

$$Fcr = \alpha v^{0,3} (Ta-35)$$

En donde:

v : velocidad del aire [m/s].

Ta : temperatura del aire [°C].

α : coeficiente que varía en función de la vestimenta:

- Cuerpo semidesnudo $\alpha=15,8$
- Vestido ligero $\alpha=13,0$
- Traje industrial o militar $\alpha= 11,6$

2.4.3.3 Perdidas por evaporación

2.4.3.3.1 Por respiración: al ser aspirado el aire, este se calienta ocurriendo intercambios convectivos, que son determinados con la fórmula:

$$F_{c. resp} = 0,0014 M (34 - T_a)$$

En donde:

M es el metabolismo correspondiente a la actividad.

La respiración produce vapor de agua, representando una pérdida energética llamada calor latente. Los intercambios latentes se relacionan con el caudal del aire expirado, la diferencia de presión entre el aire expirado y el ambiente, y el calor latente del agua. En primera aproximación puede ser calculado así:

$$F_{resp.} = 0,023M [44 - P_v(T_a)]$$

Donde:

$P_v(T_a)$: es la presión de vapor de agua del aire temperatura ambiente.

2.4.3.3.2 Por perspiración: es la transferencia continua de vapor de agua del cuerpo humano al ambiente, ocurre en cualquier clima, por lo que no tiene carácter de regulación térmica.

La ley de Difusión de Vapor o también conocida como la Ley Fick, representa este fenómeno, la cual define el caudal de vapor transmitido al ser multiplicado por el calor latente de vaporización del agua, llega a una ley similar a la Ley de Newton, con lo que se obtiene el flujo de calor por perspiración.

Para el caso de Venezuela se puede calcular:

$$F_{persp} = 0,41 W/m^2 \cdot mm [P_{vs}(T_p) - P_v(T_a)]$$

Donde:

$P_{vs}(T_p)$: es la presión de vapor saturado del aire a la temperatura de la piel (T_p), que se puede aproximar:

$$P_{vs} = \frac{(256Tp - 3373)}{133}$$

Y $P_v(T_a)$ se calcula con la humedad relativa (ϕ) y la presión de vapor de agua del aire a temperatura ambiente $P_{vs}(T_a)$ en milímetros de mercurio, (dato que se encuentra en un diagrama psicrométrico).

$$P_v(T_a) = \phi P_{vs}(T_a) \quad [mm \text{ Mg}]$$

2.4.3.3.3 Por sudoración: al aumentar la temperatura interna del organismo debido al trabajo corporal o a ambientes muy cálidos, la sudoración se activa automáticamente como mecanismo de auto-regulación. Enfriando el cuerpo a través de la evaporación del sudor.

La tasa de sudor varía proporcionalmente al esfuerzo físico y a las condiciones del ambiente. El que aumente el caudal de sudor no asegura un mejoramiento de la sensación térmica, se necesita que el sudor se evapore, ello depende de la capacidad del aire de contener agua.

Givonni define el poder evaporativo máximo del aire ($Emáx$) por el ambiente (potencial evaporativo):

$$Emáx = p v^{0,3} [42 - v P_v(T_a)]$$

En donde:

42: presión de vapor de la piel a temperatura 35°C [mmhg]

p : representa la transmisión del sudor a través de la ropa (coeficiente dependiendo de la ropa):

- Para un cuerpo semidesnudo $p = 19,7$
- Para un cuerpo con ropa ligera $p = 12,8$
- Para ropa de trabajo industrial $p = 8$

El $Emáx$, también puede ser determinado, con la siguiente ecuación:

$$Emáx = 2,2 F_{pcl} [P_v(T_p) - P_v(T_a)]$$

En donde el factor de reducción del vestido, F_{pcl} se ha tabulado así:

- Para una persona desnuda $F_{pcl} = 1$

- Para una persona con traje impermeable $F_{pcl} = 0$
- Para vestimenta corriente $0,5 < F_{pcl} < 0,9$

La capacidad de evaporación de la piel mojada (W) es la relación entre el caudal evaporativo de la piel mojada (E_p) con el poder evaporativo máximo del aire ($E_{máx}$):

$$W = \frac{E_p}{E_{\max}}$$

Este término constituye un criterio para la caracterización del confort en los ambientes cálidos.

2.5 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EDIFICACIONES

2.5.1 Intercambios térmicos con la envolvente

La envolvente actúa como un filtro interpuesto entre las condiciones climáticas y los ambientes de una edificación respondiendo a un conjunto de fenómenos que ocurren entre estos, se trata, de un filtro de respuesta dinámica, ya que no solo depende de las condiciones térmicas en un momento dado sino también de las existentes con anterioridad. Este conjunto de fenómenos se refiere a la capacidad de la envolvente de:

- Intercambiar la radiación electromagnética con su entorno
- Intercambiar calor con el aire que la rodea
- Intercambiar calor con otros cuerpos en contacto con ella
- Condicionar el paso de calor a través de ella
- Condicionar el paso de aire a través de ella.

Se evalúan los tres modos de transferencia de calor en los tres primeros puntos.

2.5.1.1 Intercambios de radiación electromagnética entre la envolvente y su entorno

Las ondas electromagnéticas son emitidas por todos los cuerpos cuya temperatura es mayor que el cero absoluto (0 K), la intensidad de estas ondas depende de la temperatura y emisividad del cuerpo. Los materiales de construcción poseen una emisividad entre 0,7 y 0,96 a excepción de los metales cuya emisividad es mucho menor de 0,2 a 0,3., mientras su superficie no sea aspera en cuyo caso aumenta en el orden de 0,6 a 0,9. Un intercambio por radiación entre dos superficies separadas responde a su relación de temperatura, emisividad y geometría. Debido a que la radiación no necesita medio de transporte, el aire entre las dos superficies puede no calentarse, esto implica una transformación de la energía, donde parte del calor que sale de un cuerpo se convierte en energía electromagnética irradiada y, reciprocamente, parte de la energía electromagnética que incide en un cuerpo se transforma al interior de este en calor. Los intercambios radiativos en edificaciones se pueden dividir en intercambios de longitud corta, estos se refieren al calentamiento de la envolvente por causa del sol, cuyo espectro radiactivo comprende la radiación infrarroja, visible y ultravioleta, también ocurren los intercambios de longitud de onda larga, refiriéndose a los intercambios entre la envolvente y los cuerpos en su entorno. Observe en la figura 2-24 el espectro de la radiación electromagnética. La radiación solar que incide en una superficie (ver figura 2-28), se reparte en consecuencias de tres propiedades: absorptividad (α), reflectividad (γ) y transmisividad (τ), definidas como las fracciones de radiación incidente que se absorben, se reflejan y transmiten respectivamente, cuya suma debe ser igual a 1, esto es equivalente al total de la radiación solar incidente.

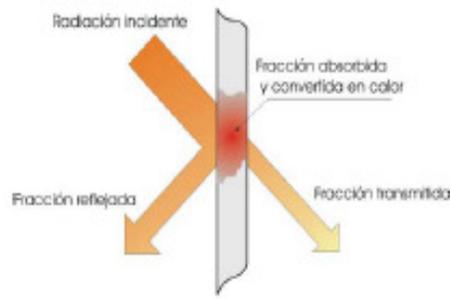


Figura 2-28. *Repartición de la radiación solar que incide en una superficie* (Fuente: Rosales 2008)

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

La radiación solar incidente se descompone dependiendo de la superficie o cuerpo que este alcanzando, por los tanto, se debe distinguir entre cuerpos opacos y traslucidos. Los cuerpos opacos la radiación solar incidente se descompone en dos: una parte es reflejada por la superficie y la otra es absorvida y convertida en calor en el interior del cuerpo. En los cuerpos traslúcidos, además de reflejarse y absorberse, una parte traspasa directamente el cuerpo en cantidades que dependen de su grado global de transparencia. Por otra parte, la radiación solar llega a la envolvente de dos maneras: como la radiación directa y como radiación difusa. La cantidad de radiación solar que al final absorbe o trasmite la envolvente depende no solo de las propiedades que posean sus superficies, sino de su relación geométrica con los rayos del sol, con las sombras y los reflejos que se produzcan. La temperatura media radiante facilita el análisis de los intercambios de longitud de onda larga entre un cerramiento y los objetos que lo rodea, considerando que se intercambiaría la misma cantidad neta de calor por radiación de onda larga en el recinto real que en un recinto cuyas superficies son cuerpos negros, es decir cuya emisividad es igual a 1. Se define la expresión que indica la cantidad de calor que se intercambia por radiación de longitud de onda larga cada segundo ($J/s=W$) entre 1 m^2 de la superficie de un cerramiento y su entorno radiante es proporcional a dos magnitudes: el coeficiente radiativo y la diferencia entre la temperatura radiante media del entorno y la temperatura de dicha superficie.

$$q_r = h_r (T_r - T_s)$$

Donde:

q_r : es el flujo intercambiado por radiación en cada m^2 de superficie del cuerpo [W/m^2]

h_r : coeficiente radiativo [$W/m^2\text{°C}$]

T_r : temperatura radiante media del entorno [°C]

T_s : temperatura superficial del cuerpo [°C]

El coeficiente radiativo depende de la emisividad y la temperatura de la superficie del cerramiento y tienen en edificaciones un valor aproximado de $5 W/m^2\text{°C}$.

2.5.1.2 Intercambios convectivos entre la envolvente y el aire

Este modo de transferencia de calor se da entre una superficie y un fluido (aire) en contacto con esta, lo que las superficies reciben del aire o transmiten al aire es energía térmica, llamada calor sensible, estos intercambios depende de la diferencia de temperatura entre la superficie y el fluido, de la velocidad con que el aire roce la superficie y de la rugosidad de la misma.

La Ley de Enfriamiento de Newton modela de manera simple este intercambio de calor:

$$q_{cv} = h_{cv} (T_a - T_s)$$

Donde:

q_{cv} : flujo intercambiado por conveccion en cada m^2 de superficie

h_{cv} : coeficiente convectivo, depende de la velocidad del aire, la diferencia de temperatura entre el aire y la superficie, la rugosidad de la superficie y su inclinación.

T_a : temperatura del aire

T_s : temperatura de la superficie.

Mientras mayor sea la velocidad de viento, la diferencia de temperatura y la lisura de la superficie, además de la inclinación de la misma se tendrá un coeficiente convectivo más alto.

2.5.1.3 Intercambios radiativos de onda larga combinados con los intercambios convectivos

Estos dos modos de intercambios se dan simultáneamente en la superficie de un cerramiento, siempre que la temperatura radiante sea similar a la del aire y utilizando las expresiones respectivas para cada modo, se les puede tratar en conjunto para ser calculado, simplemente sumándolos:

$$q_s = h_r(T_a - T_s) + h_{cv}(T_a - T_s) = (h_r + h_{cv})(T_a - T_s) = h(T_a - T_s)$$

Donde:

q_s : es el flujo total de calor que intercambian en 1 m^2 de la superficie de un cerramiento por efecto de la radiación de onda larga y la convección $[\text{W}/\text{m}^2]$.

h : es el coeficiente global de intercambios superficiales también conocido como conductividad superficial, este indica que tan fácilmente entra o sale el calor en una superficie $[\text{W}/\text{m}^2\text{°C}]$.

Existe una manera de medir la dificultad con la que el calor entra o sale de una superficie, a este fenomeno se le llama resistencia superficial, actuando inversamente a la conductividad superficial, es el cociente $1/h$ despejado de la expresion anterior.

2.5.1.4 Intercambios radiativos de onda larga + intercambios convectivos + intercambios radiativos de onda corta.

Los cerramientos absorben calor por efecto del sol, este se le puede sumar a la expresi3n anterior, obteni3ndose el flujo de calor que intercambia una superficie por causa de los intercambios superficiales y por causa de la radiaci3n solar incidente:

$$q_{s+sol} = h(T_a - T_s) + \alpha E_s$$

Si tenemos que:

$$T_{sa} = T_a + \frac{\alpha}{h} E_s$$

la f3rmula nos queda:

$$q_{s+sol} = h(T_{sa} - T_s)$$

Esta representada de forma similar a las dem3s expresiones donde el flujo de calor es proporcional a un coeficiente y a una diferencia de temperatura.

Donde:

T_{sa} : es la temperatura sol-aire [°C].

h : coeficiente convectivo.

La temperatura sol-aire , se usa a fin de estimar cuanto se calienta una superficie, por lo que solo tiene sentido en cerramientos expuestos al sol, aunque se deber tener en cuenta que aunque el cerramiento no reciba radiación solar directa podría recibir radiación solar difusa. Los techos intercambian radiación con el cielo, y se le ha calculado que en promedio emiten desde 90 W/m^2 a 20 W/m^2 si el cielo esta despejado o nublado respectivamente, simplificando esto se supone una pérdida de calor por radiación desde los techos de 50 W/m^2 . Este promedio se le resta al calor que intercambia el techo por efecto combinado del sol, la radiación de longitud de onda larga con objetos a temperatura similar y la convección, quedando:

$$q_{s+sol} = h(T_a - T_s) + \alpha E_s - 50 = h(T_{sa} - T_s)$$

Donde la temperatura sol y aire queda expresada:

$$T_{sa} = T_a + \frac{\alpha E_s - 50}{h}$$

2.5.1.5 Intercambios conductivos entre la envolvente y otros cuerpos

Los intercambios de calor por conducción requieren diferencias de temperatura apreciables y grandes superficies en contacto para que estos no sean despreciables. Los intercambios de calor entre la envolvente de una edificación y su entorno se producen sobre todo por convección y radiación y muy poco por conducción.

2.5.2 Propagación del calor al interior por un componente de la envolvente

Este flujo de calor ocurre por conducción, el calor penetra al interior del material, tomando en cuenta el gradiente de temperatura para que este fluya de un lado al otro. La conducción es la transferencia de calor de una partícula a otra. El

calor fluye con menos dificultad mientras mayor sea la densidad del material, ya que las partículas se encuentran muy cerca haciendo que el campo magnético generado por una de las partículas del material interfiera en los campos magnéticos de las partículas continuas, produciendo la transmisión de la energía térmica a causa de estas interferencias.

2.5.3 Flujo de calor que atraviesa un cerramiento

El calor que llega y atraviesa a un cerramiento pasa por tres resistencias: la resistencia superficial de la cara exterior, la resistividad del cerramiento y la resistencia superficial de la cara interior. Por otro lado, la radiación solar incidente que penetra en el material de acuerdo a su absorvidad se incorpora al flujo conducido. La capacidad calorífica del material es la que almacena el calor que se adentra al material. La oposición al paso de calor entre dos ambientes la ofrece lo que se denomina la resistencia térmica de un cerramiento. Reuniendo en un valor la suma de las resistencias superficiales y la resistencias de los materiales (resistividad) conforme a sus espesores.

$$R = \frac{1}{h^{ext}} + \sum \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h^{int}}$$

Donde:

$1/h^{ext}$: resistencia superficial de la cara exterior.

$1/h^{int}$: resistencia superficial de la cara interior.

e/λ : resistividad de un cerramiento afectada por su espesor.

La sumatoria incluye la opción de que los cerramientos estén compuestos de varios materiales colocados en serie. La conductancia del cerramiento es el inverso de la

resistencia térmica y expresa la facilidad con la que el calor fluye entre los ambiente que el cerramiento separa.

$$K = \frac{1}{R}$$

Obteniéndose, que el flujo de calor de un cerramiento entre dos puntos ubicados a los dos lados del mismo y a una distancia mayor a donde se dan los intercambios superficiales es:

$$q_{ext \rightarrow int} = K(T_{sa} - T_{int})$$

Esta expresa que la cantidad de calor que atraviesa 1 m² es proporcional a la conductancia y a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior. En la figura 2-29 se observa el esquema de la transferencia de calor total que aquí ocurre:

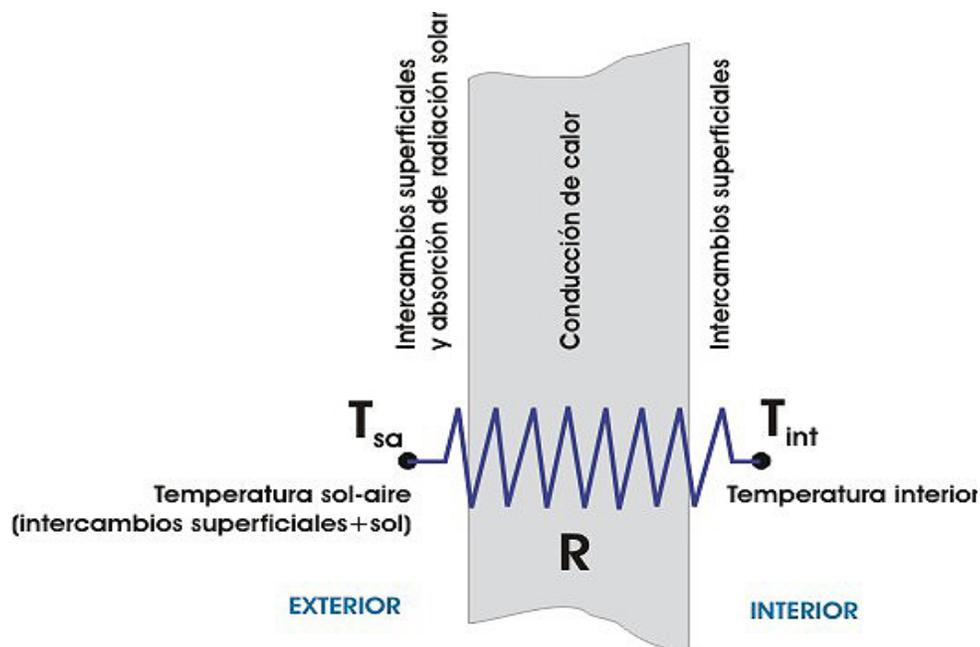


Figura 2-29. La resistencia térmica y la conductancia permiten relacionar la temperatura sol-aire con la temperatura interior.

Estas ecuaciones solo son aplicables en régimen estacionario o permanente, manteniendo el flujo de calor invariable entre ambas caras, sin almacenamiento de calor. Si existe algún cambio en la temperatura sol-aire se debe esperar a que la temperatura del interior se ajuste al cambio y vuelva a estar en régimen estacionario, para que expresión tenga validez. Las edificaciones están expuestas a las variaciones climáticas, así como también a las variaciones de ocupación y funcionamiento, lo que genera que no se encuentren en régimen estacionario, produciendo un régimen dinámico o variable, régimen que requiere resolver las ecuación de calor de Fourier, si no es analíticamente posible, se recurre a los métodos numéricos, donde se plantean ecuaciones no lineales basándose en la discretización espacial de los componentes de los cerramientos, aplicando variaciones incrementales de las sollicitaciones climáticas hasta lograr la convergencia a la solución.

2.5.4 Resistencia térmica de cámaras de aire

Cuando un cerramiento tiene cámara de aire, a la fórmula utilizada para calcular la resistencia térmica de un cerramiento se le agrega un término, el cual expresa la resistencia térmica de la cámara, queda la sumatoria incluida suponiendo que el cerramiento pueda tener más de una cámara de aire:

$$R = \frac{1}{h^{ext}} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \sum R_i^{cámara} + \frac{1}{h^{int}}$$

La resistencia termica de una camara de aire depende de la conducción, convección y radiación. Hay factores que influyen los modos de transferencia de calor que ocurren dentro de la camara:

- Espesor de la cámara
- Flujo de aire en la cámara (si es ventilada o no)

- Propiedades de las superficies que dan hacia la cámara (sobre todo la emisividad)
- Dirección del flujo de calor (horizontal o vertical)

En cámaras de aire no ventiladas o con aire confinado, la resistencia térmica aumenta a medida que el espesor de la cámara aumenta, hasta llegar a unos 25 cm, luego de esta medida tiende a mantenerse constante, ya que la transferencia de calor ocurre solo por radiación y convección, perdiendo importancia la conducción. En la tabla 3 se presentan los valores de la resistencia térmica de cámaras no ventiladas en función de su espesor para el caso de paredes:

Tabla 3 Valores aproximados de la resistencia térmica de las cámaras de aire no ventiladas en función del espesor.

Espesor de la cámara de aire (mm)	Resistencia térmica (m ² °C/W)
3	0,069
6	0,114
13	0,142
20	0,151
25	0,170

Se calculará la resistencia térmica de la cámara con una aproximación aceptable sumando los inversos de la conductividad de las dos superficies que dan a

la cámara, si esta es horizontal o vertical se tienen valores típicos de $0,12 \text{ m}^2\text{C/W}$ y $0,17 \text{ m}^2\text{C/W}$ respectivamente:

$$R^{\text{cámara}} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}$$

Donde:

h_1, h_2 : Coeficientes radiactivos.

En una cámara de aire ventiladas, el aire es evacuado por el caudal de renovación del aire de la cámara. Suponiendo que la transferencia de calor se realiza solo por radiación, siendo la resistencia térmica equivalente a la suma de los inversos del coeficiente radiativos, aproximadamente $0,4 \text{ m}^2\text{C/W}$. Se debe tener en cuenta la emisividad de las superficies de la cámara, ya que cuando la emisividad de las superficies es poca (disminuye la transferencia radiativa de una superficie a otra), la resistencia térmica de la cámara de aire aumenta.

2.5.6 Intercambios de calor por ventilación

El aire posee un calor específico, por lo que el aporte o disminución de calor neto de una masa de aire que entra en una edificación depende de su temperatura y la temperatura del aire que desplaza. La potencia de enfriamiento de la ventilación, no solo depende de la diferencia de temperaturas, sino también del caudal de ventilación, tenemos que:

$$q_V = Q_m c_a (T_{ext} - T_{int})$$

Donde:

Q_m : es el caudal masico de ventilación

C_a : es el calor específico

T_{ext} : es la temperatura exterior

T_{int} : es la temperatura interior

Si la temperatura interior del aire es mayor que la temperatura exterior el flujo de calor será negativo, lo que quiere decir que se producirá una pérdida de calor en el aire de la edificación (enfriamiento). De ser la temperatura exterior mayor a la temperatura interior, el flujo sera positivo, produciendo una ganancia de calor a la edificación (calentándose).

2.5.6 Balance térmico de una edificación

Los flujos calóricos en una edificación tienen diversas fuentes de origen: temperatura exterior, radiación solar, entorno radiante, viento, iluminación artificial, ocupantes, evaporación de superficies mojadas, electrodomésticos, etc. La suma de todos estos flujos dará como resultado el balance térmico de una edificación, determinando así la condición térmica existente.

Las ganancias y pérdidas de calor pueden clasificarse como:

- Calor conducido a través de cerramientos
- Radiación transmitida a través de superficies translucidas o aberturas
- Calor aportado o evacuado por los ocupantes y equipos (electrodomésticos, instalaciones, etc.)
- Calor aportado o evacuado por ventilación
- Calor latente aportado o eliminado por condensación o evaporación de agua.

El balance térmico de una edificación puede escribirse como:

$$q_{conducción} + q_{transmisión} + q_{ocupantes\ y\ equipos} + q_{ventilación} + q_{latente} = C_{local} \frac{dT}{dt}$$

Donde:

dT/dt : es la variación de la temperatura local en el tiempo [$^{\circ}C/s$].

C_{local} : es la capacidad calorífica de todo el aire de la edificación [$J/^{\circ}C$].

El resultado indica la condición térmica de la edificación:

Si $C_{local} < 0$, la edificación se está enfriando, el calor que sale de la edificación es mayor que el que entra.

Si $C_{local} = 0$, la edificación esta en equilibrio térmico, lo que indica que la cantidad de calor que entra es igual que la que sale.

Si $C_{local} > 0$, la edificación se está calentando, el calor que entra a la edificación es mayor que el que sale.

Para calcular el balance en régimen estacionario, se desprecian los intercambios de calor latente, además no hay variación de la temperatura ($dT/dt = 0$), por lo tanto el balance tiene que dar cero, quedando la ecuación:

$$q_{conducción} + q_{transmisión} + q_{ocupantes\ y\ equipos} + q_{ventilación} =$$

$$= \sum_{i=1}^n K_i S_i (T_{sai} - T_{int}) + \sum_{i=1}^m \tau_i S_i E_{si} + \sum_{i=1}^w P_i + Q_m C_a (T_{ext} - T_{int}) = 0$$

La primera sumatoria representa todos los flujos de calor que se generan por efecto de la temperatura del aire, la temperatura media radiante y la radiación solar, y que son conducidos a través de los n cerramientos del local, cada cual de un área en particular S_i , de conductancia K_i y de temperatura sol-aire T_{sai} .

La segunda sumatoria es el total de la radiación directamente transmitida a través de los m cerramientos traslúcidos, cada cual de área S_i y de transmisividad τ_i (en los casos de ventanas abiertas o vanos, la transmisividad sería igual a 1).

La tercera sumatoria son las contribuciones de cada una de las w fuentes internas (lámparas, equipos, ocupantes, etc.)

El cuarto término es el flujo de calor aportado o evacuado por ventilación.

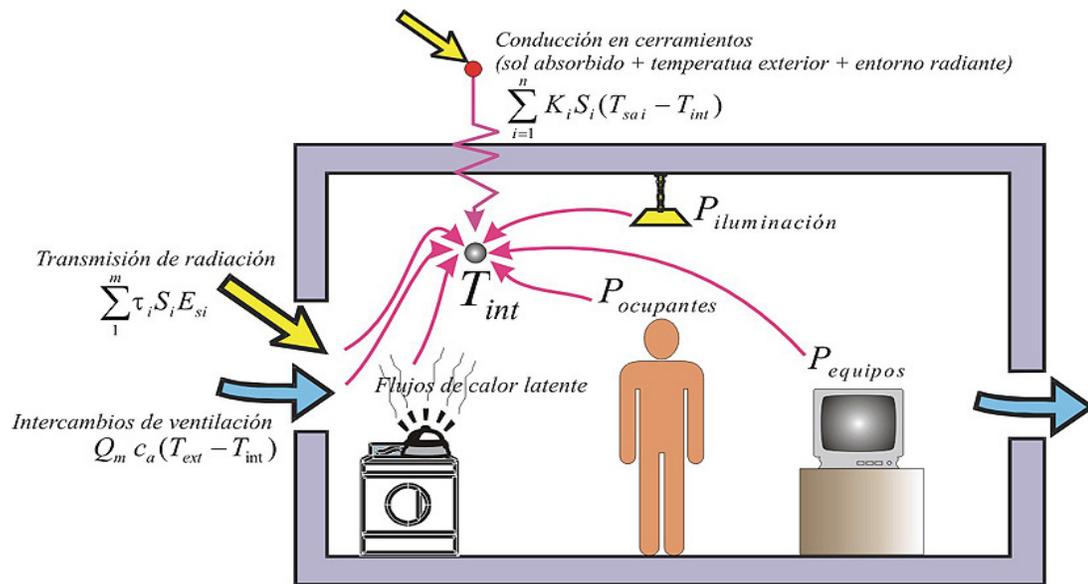


Figura 2-30 Flujo de calor en un local para régimen estacionario (Fuente: Rosales 2008).

Si se conoce el caudal de ventilación y las condiciones climáticas, la única incógnita pasaría a ser la Temperatura interior, pudiéndose despejar de la ecuación de balance en régimen estacionario, dependiendo de la capacidad calorífica de los materiales la fórmula dará, temperaturas mayores en caso de que la edificación en la situación real se esté calentando y temperaturas menores en el caso de que se esté enfriando.

Despejando la ecuación queda:

$$T_{int} = \frac{Q_m C_a T_{ext} + \sum S_i K_i T_{sa} + \sum P_i + \sum \tau_i S_i E_{si}}{Q_m C_a + \sum S_i K_i}$$

2.6 COMPORTAMIENTO DE LA ENVOLVENTE EN CUANTO ANTE VARIACIONES CLIMÁTICAS

La temperatura del aire y la radiación solar varían a lo largo del día, los cerramientos que conforman la envolvente están expuestos a estas condiciones climáticas, por lo que sus superficies cambian de temperatura a lo largo del día,

alcanzando los máximos de temperatura en la cara exterior al mediodía y en la tarde, como se puede observar en la figura 2-31, generando un proceso dinámico diario de carga y descarga de calor, el sentido depende del gradiente de temperatura.

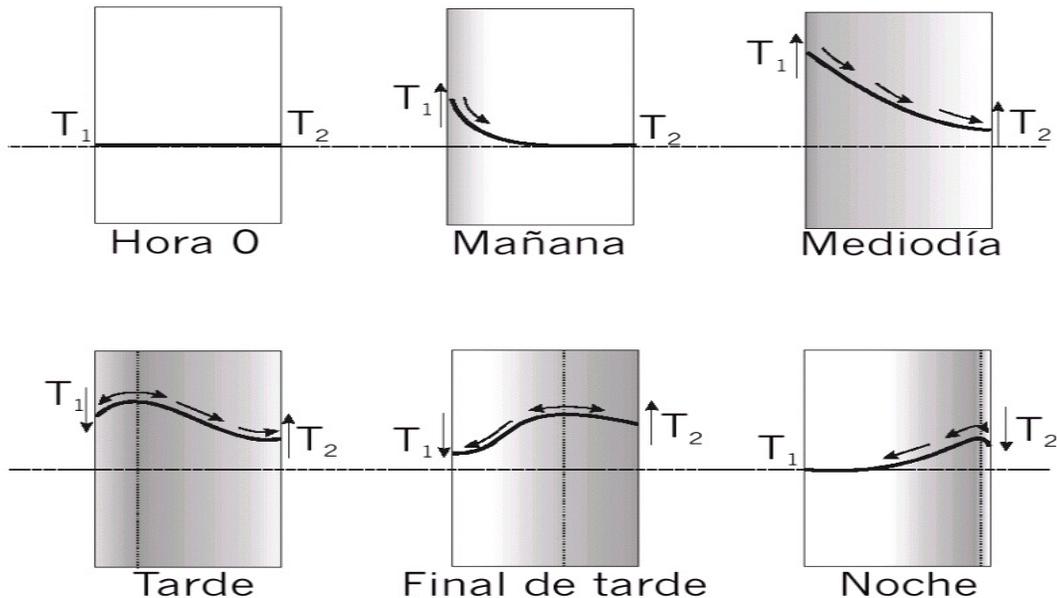


Figura 2-31. *Temperatura en un cerramiento a lo largo del día.* (Rosales 2008)

En la figura 2-31 tenemos que a la izquierda está la cara exterior, es decir, la expuesta con el ambiente, mientras que a la derecha se encuentra la cara interior, por lo tanto T_1 es la temperatura externa ($T_1=T_{ext}$) y T_2 es la temperatura interna ($T_2=T_{int}$).

Como se observa en la figura 2-31 la variación de la temperatura de la cara interior del cerramiento es menos amplia que la temperatura de la cara exterior, además llega a su máximo cuando la temperatura de la cara externa ya ha disminuido. Al graficar las variaciones de las temperaturas de ambas caras, tenemos:

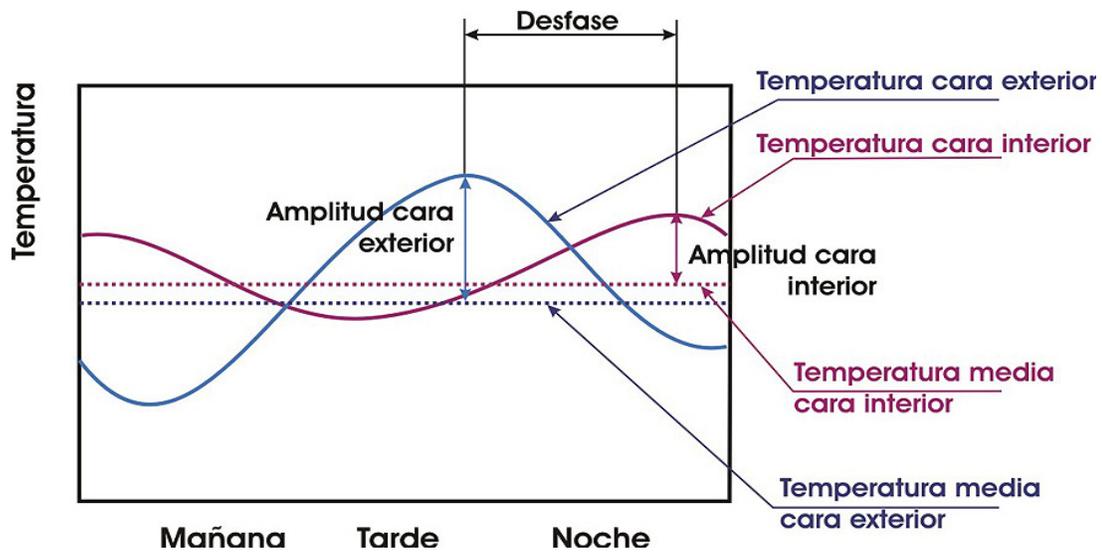


Figura 2-32. *Desfase y amortiguamiento de la onda diaria de temperatura.* (Rosales 2008)

El coeficiente de amortiguamiento (μ) y el desfase (ϕ) caracterizan la diferencia entre las ondas de las temperaturas de ambas caras del cerramiento como se observa en la figura 3-32. Son el resultado de la propagación de calor en el interior de los materiales, de acuerdo a la Ley de Fourier, la cual se puede escribir también así:

$$\frac{dT}{dt} = a \frac{d^2T}{dx^2} \Rightarrow a = \frac{\lambda}{C}$$

$a = \lambda/C$ es la difusividad térmica del material [m^2/s]

λ : Conductividad.

C : Capacidad calorífica.

El coeficiente de amortiguamiento y el desfase solo puede ser calculado analíticamente para cerramientos sencillos, y recurrir a métodos numéricos cuando los cerramientos son más complejos. Para cerramientos homogéneos se tienen las expresiones:

$$\mu = \frac{1}{1.43 \sqrt{a}} \quad ; \quad \phi = \frac{1.38e}{\sqrt{a}}$$

Donde:

e: espesor.

A mayor espesor mayores serán el coeficiente de amortiguamiento y el desfase, y por lo tanto mayor la cantidad de material que el calor debe atravesar. Mientras que a mayor difusividad del material del cerramiento, donde el calor se propaga rápidamente, el coeficiente de amortiguamiento y el desfase serán menores para cerramientos homogéneos.

Tabla 4 Desfase y coeficiente de amortiguamiento para dos cerramientos iguales pero invertidos

Composición (Ext. → Int)	Espesor de cada capa (cm)	Desfase	Coeficiente
Fibra de vidrio	4	11 h 50'	0,046
Concreto	10		
Concreto	10	3 h	0,45
Fibra de vidrio	4		

Si el cerramiento está formado por varios materiales, el desfase y amortiguamiento serán determinados por la secuencia de materiales, cada uno imponiendo al siguiente una onda de calor particular, dependiendo de su espesor y su difusividad.

2.7. INERCIA TÉRMICA

La capacidad de almacenar calor y transmitirlo con retardo es a lo que se le denomina inercia térmica de un cerramiento. Por extensión, una edificación de inercia térmica elevada es aquella en cuyo interior la onda diaria de la temperatura del aire está fuertemente desfasada y amortiguada con respecto a la onda diaria de la temperatura del aire exterior.

Se advierte que la inercia térmica de una edificación no sólo depende de la masa térmica de los materiales que conforman los cerramientos sino de su permeabilidad a los vientos. Una edificación pudiera estar constituida por cerramientos pesados, pero si posee grandes aberturas que promuevan la ventilación, su masa térmica global disminuye, pues la entrada de aire exterior acerca las condiciones de temperatura entre ambos ambientes, lo que reduce el amortiguamiento y el desfase de la temperatura.

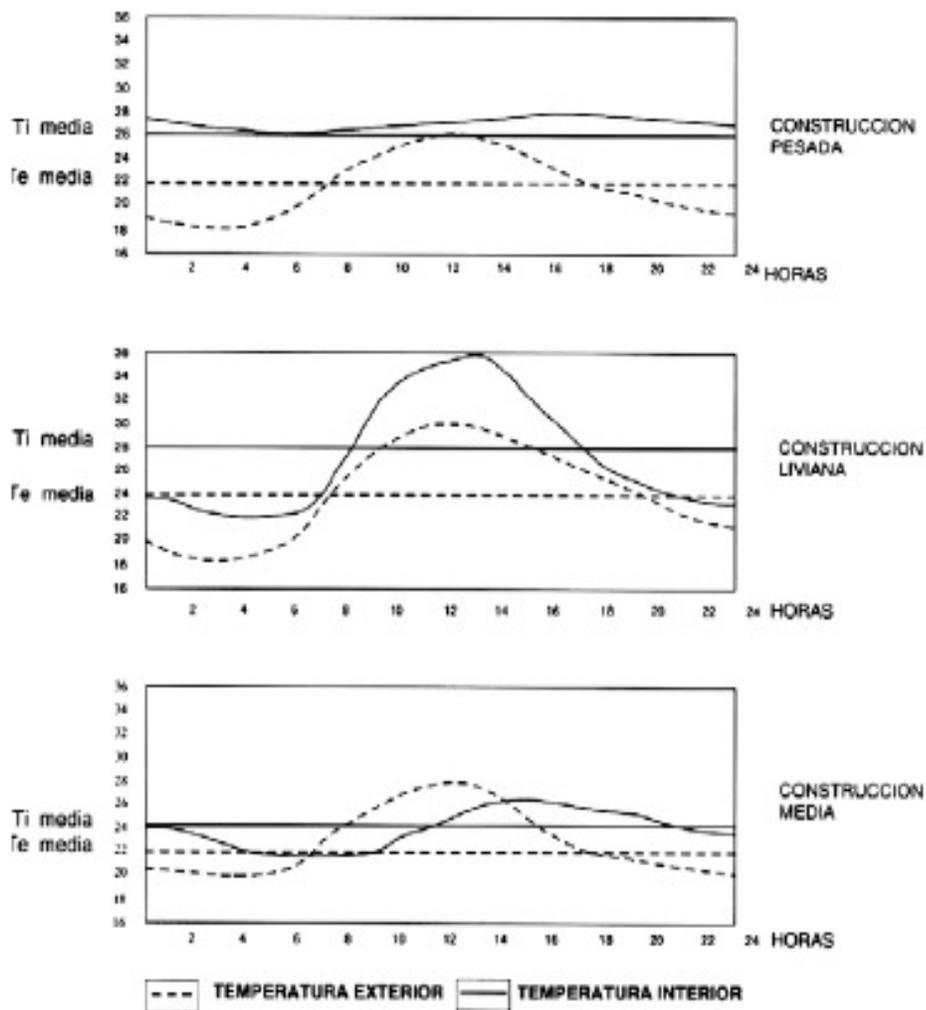


Figura. 2-33. Tres tipos de edificaciones según su inercia térmica (Rosales)

2.8 DISEÑO PASIVO

El término de diseño pasivo, en esta época no hace solo referencia al uso de sistemas pasivos, este diseño abarca actualmente el diseño de edificaciones económicas de energía y de poca energía e incluye el uso de sistemas activos de poca energía, en general son edificaciones que aprovechan las condiciones climáticas de la zona.

La idea básica del diseño pasivo es permitir en luz del día, calor y circulación de aire solamente cuando son los más beneficiosos, y excluirlos cuando no son. Esto incluye el almacenaje de energías ambiente en lo posible, para la distribución más adelante cuando puede haber mayor necesidad. Entre las técnicas pasivas se considera, la orientación, cantidad apropiada de aberturas etc.

2.8.1 Principios importantes para el diseño pasivo

El buen diseño pasivo para la comodidad termal se basa en los seis principios principales siguientes:

- La orientación de áreas con frecuencia usadas hacia el ecuador (norte en el hemisferio meridional, el sur en el hemisferio norte), permite la máxima radiación solar cuando es necesaria para el calor, y excluye más fácilmente el calor del sol cuando no es necesario.
- Sainado usado para atrapar el calor del sol dentro de un espacio cuando es necesario, con el brillo y la protección adecuados del edificio contra aumento del calor o pérdida de calor indeseado. Las ventanas, las puertas de cristal, los paneles y los tragaluces son importantes en la admisión de calor y de la luz, teniendo un impacto significativo en el consumo de energía.
- La masa termal para almacenar el calor del sol cuando está requerida, y proporciona un disipador de calor cuando la necesidad está para refrescarse.

- Aislamiento para reducir pérdidas de calor o aumentos indeseados del calor a través de la azotea, de las paredes, de las puertas, de las ventanas y de los pisos.
- Ventilación para proporcionar el aire fresco y para capturar las brisas de enfriamiento.
- División de los espacios internos para permitir que diversos requisitos termales sean divididos en compartimientos cuando está requerido.

2.8.2 Técnicas de diseño de edificaciones energéticamente eficientes

En el manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes realizado por dos de profesores de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Central de Venezuela ofrece pautas para el diseño, construcción, uso y mantenimiento de la edificación tomando en cuenta las variables climatológicas del país, además de tomar en cuenta los aspectos sociales, económicos y culturales. En este expone que La Teoría Exigencial (Blachère) (Fuente: Siem y Sosa 2004 a) les permitió establecer un conjunto de criterios fundamentales para el diseño y producción de los componentes y el conjunto arquitectónico.

Tres criterios fundamentales para el comportamiento térmico y lumínico desarrollan las técnicas de diseño arquitectónico:

- Mitigación de las cargas de calor solar.
- Aprovechamiento de la ventilación natural.
- Control de la iluminación natural

2.8.3 Enfriamiento pasivo

Para el estudio del enfriamiento pasivo es necesario conocer las condiciones climáticas de la zona en estudio y su relación con las zonas de confort. Se describen a continuación algunos de los sistemas pasivos de climatización:

Enfriamiento por contacto con la tierra: La temperatura de la tierra generalmente es menor que la temperatura del ambiente, por lo que este concepto se basa en la disipación de calor por contacto directo o a través de tubos o conductos enterrados por los cuales circula el fluido que se enfría al entrar en contacto con capas más frías del suelo. Se aspira el aire (interior o exterior) mediante un ventilador y es reinyectado al ambiente interior después de ser enfriado por el recorrido de los tubos enterrados. Este sistema de enfriamiento pasivo depende de múltiples factores: temperatura del aire a la entrada, la temperatura del suelo a la profundidad del tubo, la conductividad térmica del tubo, la difusividad térmica del suelo, la velocidad del aire en el tubo y sus dimensiones. Se deben realizar un conjunto de cálculos detallados para optimizar la función de este tipo de sistemas. La diferencia de la temperatura de aire ambiental con la del suelo debe ser mayor a 5°C.

Enfriamiento radiativo: este enfriamiento del aire se hace a través de una bóveda celeste nocturna utilizada como sumidero de energía electromagnética proveniente de la masa de la edificación o de radiadores por los cuales circula en fluido que se desea enfriar. Esta técnica se basa en la pérdida de calor por radiación de gran longitud de onda de un cuerpo hacia otro de menor temperatura, sabiendo que la temperatura del cielo es menor que la mayoría de los cuerpos existentes sobre el globo terrestre. La radiación es emitida por la envolvente de la edificación hacia la bóveda celeste enfriándola en consecuencia, aumentando de esta manera la pérdida de calor al interior de la edificación. Existe una técnica muy sencilla para la aplicación de este criterio, consiste en pintar el techo de blanco de manera que permita que el techo absorba menos energía solar durante el día y se produzca la emisividad térmica en la

noche. Otra técnica consiste en colocar elementos como radiadores que sustituyan la envolvente de la edificación.

Enfriamiento evaporativo: basada en el proceso termodinámico de la evaporación del agua, tiene lugar cuando el aire donde ocurre la evaporación es más caliente que las gotas de agua contenidas en ese aire, el calor latente necesario para el cambio de fase es tomado del aire, enfriándolo y aumentando la cantidad de agua en él. Al saturarse el aire se obtiene su máximo enfriamiento.

Para el enfriamiento indirecto es necesario el uso de intercambiadores de calor que mantienen la humedad del aire tratado constante. Se enfría el aire a tratar, interponiendo aire exterior previamente enfriado por evaporación directa en el intercambiador, haciendo uso únicamente de intercambiadores sensibles. No existe contacto entre el compartimiento de aire tratado y el aire que se enfría por evaporación directa. La temperatura mas baja alcanzada es la temperatura húmeda del aire exterior. Es importante que el medio no presente humedades relativas demasiado altas ya que estas se pueden sumar al vapor de agua aportado por la evaporación. El uso de sistemas evaporativos directos o indirectos permite aprovechar el consumo de energía necesario para el cambio del estado del agua del estado líquido al estado gaseoso.

2.9 HABITABILIDAD Y SUSTENTABILIDAD

2.9.1 HABITABILIDAD

“Es la capacidad que debe tener una edificación para que en ella se pueda vivir, en condiciones que promuevan y mantengan la salud individual y grupal. Esta estará compuesta por el conjunto de condiciones físicas y no físicas que permiten la permanencia humana en el lugar, y que permiten la satisfacción de exigencias humanas relacionadas con el individuo y/o grupo familiar”

2.9.1.2 REQUERIMIENTOS DE LA HABITABILIDAD

Las edificaciones deben responder a un conjunto de exigencias de sus ocupantes preestablecidas en función de un entorno determinado, es decir, en las condiciones naturales o artificiales externas del lugar donde se han construido.

Los componentes de la vivienda y su entorno deben cumplir con ciertas características para que los usuarios de estas edificaciones alcancen los niveles de confort, estos componentes son variables y dependen de su uso y modo de adaptación, es por ello que no es recomendable fijar las características de estos para garantizar su idoneidad.

Para determinar los requerimientos de habitabilidad de una edificación, establece ciertas consideraciones; como que está conformada por divisiones espaciales y por los componentes constructivos que conforman estas divisiones, se precisan las características espaciales, las propiedades físicas, químicas, geométricas entre otras, requeridas por los ambientes y los componentes con los cuales han sido construidos, el resultado final será la suma del comportamiento de todas las divisiones.

2.9.2 SUSTENTABILIDAD

El concepto de sustentabilidad tiene su origen en la década de los años setenta cuando la defensa del medio ambiente se convirtió en un tema de suma importancia, reconociendo en 1972 en la conferencia de las Naciones Unidas que el medio ambiente es un elemento fundamental para el desarrollo del ser humano, y que se este se encontraba atravesando una crisis a nivel mundial. A partir de esta conferencia se iniciaron programas y proyectos que trabajarían para construir nuevas vías y alternativas con el fin de enfrentar los problemas ambientales y mejorar el aprovechamiento de los recursos naturales para las generaciones presentes y futuras.

En 1987, la comisión de la ONU emitió un documento titulado *Nuestro futuro común*, conocido como el informe Brundtland, donde se definió desarrollo sustentable como:

“Aquel que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”

Mundialmente el concepto de desarrollo sustentable se ha difundido como elemento principal para orientar a la sociedad., que vincula el deterioro del medio ambiente con la calidad de vida del ser humano. Alberto Lovera la define como:

“La sustentabilidad es una noción que requiere atender a sus distintas aristas económicas, social, ambiental y técnica”

Lo que se busca es lograr un equilibrio entre el hombre y la naturaleza, conociendo los elementos que esto supone. El concepto de sustentabilidad es muy importante en el diseño y construcción de edificaciones, ya que participa no solo en su construcción, busca satisfacer las necesidades de sus usuarios.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Tipo de Investigación

De acuerdo con los objetivos establecidos, se desea evaluar el comportamiento térmico de viviendas de bajo costo, en donde se utilice sistemas de climatización pasiva obteniendo un ambiente agradable y dentro de las escalas del confort térmico determinadas para este caso de estudio.

Para la realización del trabajo especial de grado se usará la modalidad de investigación de factible, donde se hará un análisis sistemático de la problemática, teniendo como propósito el entendimiento de su naturaleza y los factores que lo constituyen, de manera de predecir el comportamiento y proponer soluciones viables a la problemática que se enfrenta.

3.2 Diseño de la investigación

Los cambios climáticos que acontecen a nivel mundial, han ocasionado una serie de modificaciones en muchos sectores industriales, en el sector de la construcción se han abocado a diseñar edificaciones en los que la climatización pasiva garantice el confort térmico de los habitantes.

En los últimos veinte años la construcción de viviendas que poseen bajo consumo energético han sido construidas en los países industrializados donde se han realizado tratados para disminuir las emanaciones de GEI, hoy en día existen diversos especialistas en el estudio de confort térmico.

Para realizar un estudio de confort térmico en edificaciones se debe realizar el análisis térmico en la edificación, para ello, es necesario establecer cuales son los parámetros que pueden generar una condición favorable o desfavorable relacionada con el estudio, con la finalidad de agrupar estos parámetros, que permita abordar de manera precisa los problemas de confort térmico que presenten estas edificaciones.

Para el estudio se utilizó un modelo de vivienda llamada Cujisal, ubicada en Mariara, Edo. Carabobo. Construida por el Instituto Nacional de Viviendas (INAVI), donde se realizaron un conjunto de mediciones *in situ*.

Se realizará el análisis térmico a través de una herramienta computacional, la cual permite simular de manera sistemática la evolución en el tiempo de los parámetros relacionados con el confort térmico. En el estudio realizado se tomaron en cuenta solo aquellos, cuya percepción individual no participe, utilizando un índice de confort térmico.

Para evaluar el comportamiento térmico del modelo de vivienda en diferentes regiones de Venezuela como lo son: Caracas, Mérida y Maracaibo, se utilizaron un conjunto de ecuaciones en régimen permanente.

Consideraciones Generales:

Debido a la carencia de recursos económicos por parte de los habitantes de las viviendas de bajo costo y concientes de las quejas por las condiciones desfavorables en cuanto al confort, surge la necesidad de evaluar el comportamiento térmico de este tipo de viviendas bajo sistemas pasivos de climatización, con la finalidad de mejorar su habitabilidad y sostenibilidad.

Para ejemplificar la variación del comportamiento térmico de las viviendas en relación a las condiciones climáticas presentes en una zona determinada, se desarrolla un diseño hipotético simplificado de vivienda.

En el diseño hipotético simplificado de vivienda, se estudió el comportamiento térmico de la misma en régimen permanente, para facilitar los cálculos realizados para el estudio, ya que las edificaciones expuestas a las variaciones del clima y a las variables de ocupación y funcionamiento no se encuentran en régimen estacionario. Los aumentos y descensos del calor que llega a la envolvente son incesantes, produciendo en ella una respuesta dinámica a tales cambios. Para que las ecuaciones basadas sólo en la conducción del calor y no su almacenamiento puedan aplicarse deben darse casos muy particulares, como

edificaciones en climas casi constantes o edificaciones con materiales de muy poca capacidad calorífica y alta conductividad, en las que la respuesta a las variaciones del clima sea casi inmediata; igualmente, se les pudiera usar en aquellos casos en que no se requiera demasiada exactitud y sólo se busque una primera apreciación gruesa del calor transferido ante determinadas condiciones térmicas.

Para el estudio de la respuesta de los elementos de una edificación en presencia de un régimen transitorio se requiere resolver la ecuación de calor de Fourier, lo cual no siempre es posible analíticamente, debiéndose recurrir a métodos numéricos. En líneas generales, estos métodos consisten en plantear sistemas de ecuaciones no lineales basados en la discretización espacial de los componentes de cerramiento, a cuya solución se llega aplicando variaciones incrementales de las solicitaciones climáticas hasta lograr la convergencia, programas de computación como Ecotect, IES o EnergyPlus usan este tipo de métodos para predecir las condiciones ambientales al interior de una edificación.

Para el diseño del modelo de ejemplo se dispone de la data climatología de tres estaciones meteorológicas ubicadas en Caracas-Distrito Capital estación #80416, Maracaibo-Edo Zulia #80407, y Mérida-Edo Mérida #80438, respectivamente, esta data fue suministrada por la Fuerza Aérea Venezolana con equipos ubicados en los aeropuertos de las ciudades antes mencionadas. Es importante señalar que debido a la dificultad que representa conseguir este tipo de información, además de los altos costo para su obtención, en este trabajo de investigación se tomaron los datos recopilados por dichas estaciones en el año 2000, esta data se encuentra casi en su totalidad.

3.3 Población y muestra

Vivienda unifamiliar apareada, Construida por el INAVI. Modelo Cujisal.
Ubicación: Mariara. Municipio Mariara. Edo. Carabobo
Año de construcción 2008.

Distribución: 3 habitaciones, 2 baños, sala-comedor, cocina, patio posterior, jardín estacionamiento. Ver figura 1 en anexos.

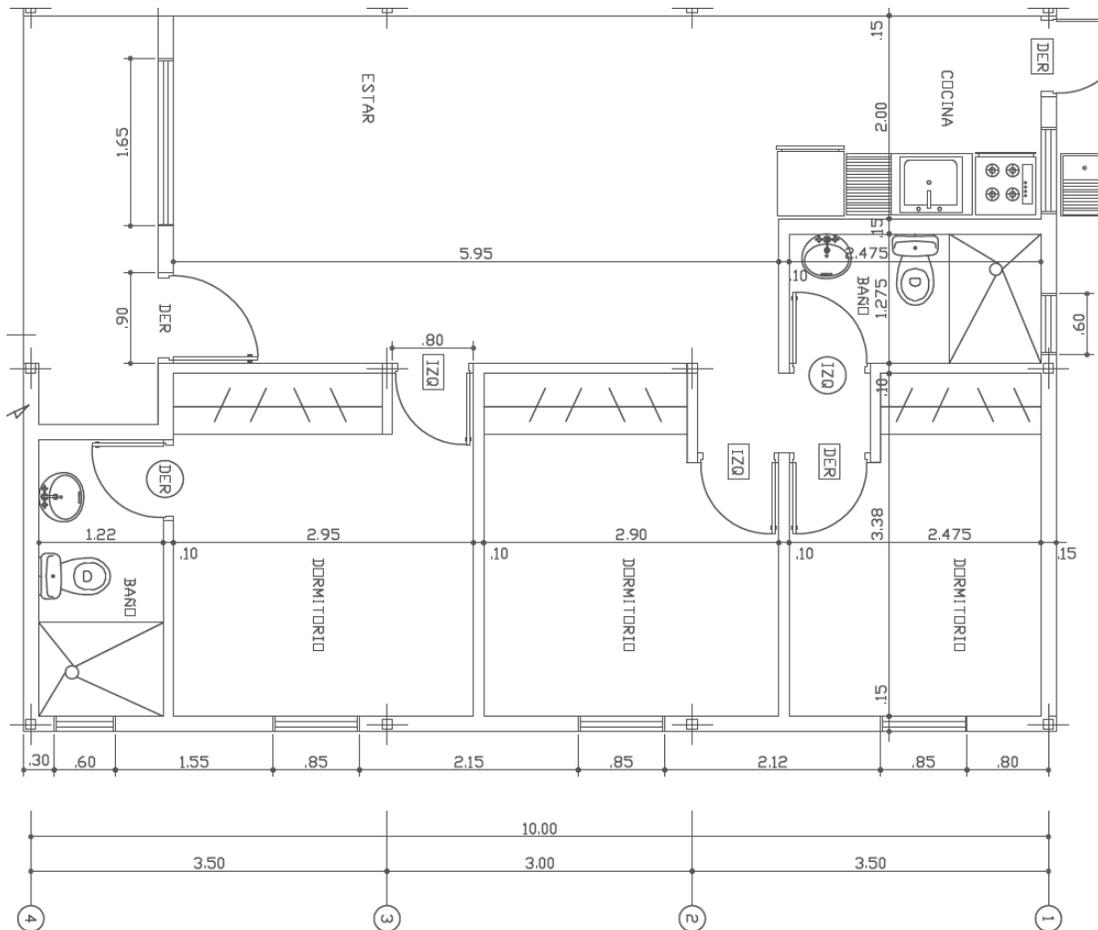


Figura 3-1 Plano vivienda INAVI modelo Cujisal

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Instrumentos

- HOBO 4-Channel External.
- HOBO RH, Temp., Light External.
- Brújula.
- Cinta métrica.
- Anemómetro.

- Pistola de Temperatura superficial.

3.4.2 Técnicas de recolección de datos

Los equipos para la medición de la temperatura del aire y la humedad dentro de la vivienda (HOBO 4-Channel external y HOBO RH, Temp., Light External), poseen baterías internas, cable USB, sensores en cables de diferentes longitudes. Estos equipos son programados mediante un software de nombre BoxCar Pro 4 esta es una herramienta computacional que permite establecer una interfaz gráfica con el usuario donde se puede apreciar la evolución de los datos recopilados en función del tiempo además de permitir la exportación de estos datos a software como Microsoft Excel entre otros, se le coloca la fecha y hora exacta en la que el equipo se enciende para comenzar las mediciones al mismo tiempo se le coloca el lapso de tiempo o frecuencia con la que se realizaran las mediciones y la fecha y hora en la que el equipo debe apagarse. Se extrae la información obtenida colocando la data en el Boxcar Pro. Obteniéndose gráficas y tablas del comportamiento térmico de la vivienda. Los sensores de medición deben ser colocados en las paredes a una altura superior de 1,5m, tomando en cuenta que no se tenga contacto con una fuente que desprenda calor que pueda interferir con las mediciones que se realicen.

Para conocer la orientación de la casa de uso una brújula de bolsillo, se coloco en la fachada frontal de la vivienda.

Las dimensiones fueron tomadas con una cinta métrica se obtuvo de esta manera los valores reales de las dimensiones de la edificación.

El anemómetro y la pistola de temperatura son utilizados para medir la velocidad y dirección del viento y la temperatura superficial de las paredes, respectivamente. El anemómetro se coloca en las afueras de la casa con la finalidad de medir periódicamente la velocidad y dirección del viento. La pistola de temperatura superficial se apunta al sitio donde se quieren realizar las mediciones, en las paredes es necesario que sea a 1,5m de altura, en las uniones pared-pared, pared-

techo pared-piso y en el techo, ambas datas se toman manualmente (velocidad y dirección del viento y temperatura superficial). Las mediciones de la temperatura superficial en las paredes y techos, la velocidad y dirección del viento no se realizaron por la inseguridad presente en la zona.

3.5 Mediciones *in situ*

3.5.1 Selección de vivienda modelo

El presente trabajo se comienza a desarrollar en el mes de julio de 2008 en ese momento se pretendía realizar el análisis de confort térmico de un modelo de vivienda desarrollado por el INAVI llamado Chaguarama ubicadas en el estado Carabobo como un primer supuesto.

En la sede del INAVI ubicada en la ciudad de Caracas no se posee información acerca de los proyectos desarrollados por el organismo en el interior del país, se viaja a la ciudad de Valencia en el Edo. Carabobo, con la finalidad de solicitar los planos y ubicación de este modelo de viviendas a través de una solicitud escrita realizada por el Prof. Geovanni Siem, explicando la finalidad del proyecto. Posteriormente en la sede del Edo. Carabobo no se encuentra registrado ningún tipo de desarrollo urbanístico con este modelo de vivienda (Chaguarama), por lo tanto se decidió comenzar una búsqueda de un modelo de vivienda de bajo costo del cual se encontrara la información necesaria para ejecutar el análisis térmico.

La búsqueda finaliza al obtener información acerca de una urbanización ubicada en el municipio Mariara del Estado Carabobo de nombre el Cujisal en donde se encuentra un urbanismo constituido por viviendas de bajo costo. Esta urbanización consta de tres etapas dos de las cuales fueron desarrolladas en el año 2000 por el Instituto Nacional de Vivienda (INAVI) con más de 100 viviendas de bajo costo, y una tercera etapa aun en construcción para la fecha.

Se contactó a un miembro del consejo comunal del municipio el Sr. José Ríos y la colaboración de los miembros de la urbanización se logra tener acceso a una vivienda de bajo costo que presuntamente cumple con las características necesarias para que se realice el análisis. En un estudio más detallado de la vivienda, se encuentra que la misma no cumple con los requerimientos deseados para el análisis térmico ya que posee sistemas de acondicionamiento de aire en constante funcionamiento y modificaciones parciales en la vivienda, fachada, ubicación de la

cocina, patio posterior, aspectos que difieren de lo que se requiere para el estudio, por lo que se descarta esta vivienda como candidata al estudio.

Se descartan gran parte de las viviendas pertenecientes a las dos primeras etapas debido básicamente a dos condiciones:

1. Modificación arquitectónica de fachadas que difieren de los planos originales de las viviendas.
2. Instalación de sistemas de acondicionamiento de aire que afectan notablemente el comportamiento térmico de la vivienda.

Estas dos condiciones difieren de los objetivos planteados en este trabajo de investigación al dejar de ser viviendas de bajo costo y contradecir el concepto de sistema de climatización pasiva.

Posteriormente bajo la colaboración del Sr. José Ríos se logra tener acceso a su vivienda, recientemente culminada ubicada en la segunda etapa de la Urb. Esta vivienda (de bajo costo) no poseía modificación en la fachada, se colocaron muros y rejas en el entorno de la vivienda, no poseía sistemas de acondicionamiento de aire, además de ello solo era habitada durante pocas horas al día por lo que cumplió con los requerimientos necesarios para realizar un análisis térmico requerido para el estudio.

3.5.2 Caracterización de vivienda modelo

Se muestra la distribución en el área de la vivienda (ver figura):

Un área aproximada de 70,0 m² superficie construida.

Tres habitaciones dos de ellas con un área de aproximadamente 11,52 m², y una con un área aproximada de 9,0 m².

1. Dos baños con 2,2 m² y 4,4 m² respectivamente.
2. Un área compartida para una cocina y sala de estar de aproximadamente 31,0 m².

En las tablas 6 y 7 se pueden observar la lista de materiales constructivos típicos en este tipo de vivienda que muestra los materiales constructivos típicos para este tipo de viviendas con algunas de sus propiedades térmicas.

3.5.3 Instalación de equipos de medición

Una vez seleccionada la vivienda como primer paso se procede a la instalación de equipos que determinan la variación de temperatura y humedad en el aire interior, con los cual se esquematiza la evolución de estos parámetros en el tiempo para este caso aproximado de 14 días con la finalidad de establecer valores referenciales en cuanto al comportamiento térmico de la vivienda.

Estos equipos HOBO 4-Channel External, HOBO RH, Temp., Light External. Se ubicaron en las zonas de la vivienda generalmente habitadas durante la mayor parte del día, sala-cocina, baños y cuartos. Durante un período de 14 días consecutivos.

El HOBO 4-Channel External los cuatro canales con sensores de medición se colocaron de la siguiente manera:

Canal 1: habitación 1

Canal 2: habitación 3

Canal 3: habitación 2

Canal 4: cuarto de baño 2

El HOBO RH, Temp., Light External se colocó en la sala-comedor.

Estos sensores son colocados a una altura de 1,60 m. alejados de cuerpos que puedan ocasionar alteraciones en las mediciones.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de resultado

Esta sección establece la esquematización técnica seguida en este trabajo de investigación para realizar la evaluación y simulación del comportamiento térmico de la vivienda seleccionada como modelo de estudio, tomando en cuenta de manera

secuencial todos las actividades llevadas a cabo para el cumplimiento de los objetivos presentes en este trabajo de investigación.

3.6.1 Cálculos de Transferencia de calor en régimen permanente

Con la finalidad de apreciar de manera conveniente la variación del comportamiento térmico del modelo se tomaron aleatoriamente los datos arrojados por dichas estaciones el día 05-11-2000 específicamente a las 11:00 am. A continuación se muestran los datos climatológicos arrojados por dichas estaciones:

Tabla 5 Datos climatológicos de 3 ciudades de Venezuela el 5-11-2000 (Fuente: Fuerza Aérea de Venezuela)

Fecha	Ciudad	Estación	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Radiación
05-11-2000	Caracas	80416	24,4	59	2,2	7,8
05-11-2000	Maracaibo	80407	30,3	69	2,2	4,3
05-11-2000	Mérida	80438	24,0	61	2,5	1,1

Una vez que se establecen las condiciones climáticas bajo las cuales se va a evaluar el comportamiento térmico de la vivienda modelo en las zonas de Venezuela seleccionadas, se establece la data de entrada necesaria para dicha evaluación.

A continuación se muestran los datos de entrada que describen la constitución del modelo:

Tabla 6 Datos de entrada necesarios para la construcción del modelo de vivienda.

Elementos constructivos	Descripción	Area total m ²
Techo de machihembrado	Techo de machihembrado con manto asfáltico bituminoso y capa de esmalte.	60
Pared compuesta	Pared compuesta por dos capas de yeso y bloque de e=150 mm con esmalte exterior.	30
Pared compuesta	Pared compuesta por dos capas de yeso y bloque de e=150 mm con esmalte exterior.	30
Pared compuesta	Pared compuesta por dos capas de yeso y bloque de e=150 mm con esmalte exterior	18
Pared compuesta	Pared compuesta por dos capas de yeso y bloque de e=150 mm con esmalte exterior	18
Piso concreto	Piso de concreto simple	60
Ventana	Ventana de vidrio simple	1

Tabla 7 Propiedades termo físicas de elementos que componen el techo, paredes y piso:

Elementos constructivos	descripción	Conductividad térmica (W/m ² C)	Absortividad (α)
Esmalte	Esmalte exterior de techo color verde claro		0,5
Manto asfáltico	Manto bituminoso e=3,2 mm	0,5	
Techo machihembrado	Techo de madera machihembrado (e=50mm)	0,2	
Yeso	Capa exterior e interior de yeso (e=2mm)	0,3	
Bloque concreto	Bloque de concreto (e=150mm)	0,3	
Ventana	Ventana vidrio simple	0,77	
Puerta	Puerta madera entamborada		
Esmalte	Esmalte exterior de pared color amarillo claro		0,6
Piso concreto	Piso concreto pulido	0,3	

3.6.1.1 Balance térmico en edificaciones (Evaluación térmica en régimen permanente)

Para realizar la evaluación térmica en régimen permanente de edificaciones se debe tomar en cuenta que el flujo de calor en las edificaciones son originadas por distintas fuentes de calor dentro de ellas se pueden mencionar, ventilación, iluminación artificial, número de ocupantes, entre otros. Por lo tanto el balance térmico de las edificaciones esta dado por la sumatoria de todas las fuentes de calor presentes en la edificación si la suma de todo el calor suministrado por las fuentes es igual a cero esto indica que la edificación se encuentra en equilibrio térmico, si por el contrario esta suma es negativa o positiva la edificación debe estar enfriándose o en su defecto calentándose.

Por lo tanto el balance térmico de edificaciones viene dado por la siguiente ecuación:

$$q_{conducción} + q_{transmisión} + q_{ocupante} + q_{ventilación} + q_{latente} = C_{local} \frac{dT}{dt} \text{ [w]} \quad (1)$$

Donde:

- $\frac{dT}{dt}$ [°C/s] es la variación de la temperatura de la edificación en el tiempo de ser cero la edificación se encuentra en equilibrio térmico.
- C_{local} [J/°C] es la capacidad calorífica de todo el aire de la edificación, igual a la capacidad calorífica del aire. Indica la cantidad de calor que se requiere suministrar para aumentar la temperatura de la edificación 1°C.

3.6.1.1.1 Cálculo de transferencia de calor en techos

Para determinar la cantidad de calor que se transfiere por conducción ($q_{\text{conducción}}$) a través del techo como parte de la ecuación correspondiente al balance térmico en edificaciones se introduce el concepto de temperatura sol-aire (T_{sa}) y se define como una temperatura del aire ficticia que produciría intercambios superficiales iguales a los producidos por la temperatura del aire, la temperatura radiante media y la radiación solar.

3.6.1.1.1.1 Intercambios radiativos de onda larga + intercambios radiativos de onda corta. Cálculo de temperatura sol-aire T_{sa}

Tomando los datos de entrada

Tabla 8 Datos climáticos de la ciudad de Caracas el 5-11-2000

Fecha	Ciudad	Estación	Temperatura T_{amb} (°C)	Humedad (%)	Velocidad del viento (m/s)	Radiación ($\text{w/m}^2\text{°C}$)
19-01-2000	Caracas	80416	24,4	59	2,2	334,4

Tabla 9 Absortividad de los elementos constructivos del techo

Elementos constructivos	descripción	Absortividad (α)
Esmalte	Esmalte exterior de techo color verde claro	0,5

$$T_{\text{sa}} = T_{\text{amb}} + \frac{\alpha E_s - 50}{h_{\text{ext}}} \quad (2)$$

T_{amb} : Temperatura ambiente

α : Absortividad

h_{ext} : Coeficiente convectivo exterior [$W/m^2\text{°C}$]

E_s : Radiación solar [$W/m^2\text{°C}$]

h_{ext} : 15 $W/m^2\text{°C}$

El coeficiente convectivo en edificaciones es de unos 3 a 5 $W/m^2\text{°C}$ en superficies interiores verticales u horizontales, 7 a 10 $W/m^2\text{°C}$ en superficies exteriores verticales y 15 a 20 $W/m^2\text{°C}$ en superficies exteriores horizontales (cada m^2 de la superficie exterior de un techo intercambiará 15 a 20 W con el aire por cada °C que aumente la diferencia de temperatura entre ambos) (Fuente: Rosales 2008). El coeficiente convectivo será entonces mayor cuanto mayor sea la velocidad del aire, la diferencia de temperatura y la lisura de la superficie.

Tomando en cuenta esta consideración se tomaron los extremos inferiores o superiores con la finalidad de poder ilustrar la variación del comportamiento térmico de la edificación bajo condiciones extremas.

Por lo tanto:

$$T_{sa} = T_{amb} + \frac{\alpha E_s - 50}{h_{ext}} = 24,4 + \frac{0,5(334,4) - 50}{15} = 32,2133\text{°C}$$

3.6.1.1.2 Cálculo de transferencia de calor por conducción, convección en techos ($q_{conducción}$)

Tomando los datos de la tabla:

Tabla 10 Conductividad térmica de algunos elementos constructivos

Elementos constructivos	Descripción	Conductividad térmica ($W/m\text{°C}$)
Manto asfáltico	Manto bituminoso (e=3,2 mm)	0,5
Techo machihembrado	Techo de madera machihembrado (e=50mm)	0,2

Tabla 11 Área total del techo de machihembrado

Elementos constructivos	Descripción	Área total m ²
Techo de machihembrado	Techo de machihembrado con manto asfáltico bituminoso y capa de esmalte.	60

La ecuación de transferencia de calor por conducción a través del techo de la edificación viene dada por:

$$q_{\text{conducción}} = \frac{1}{R_{\text{total}}} A_{\text{Total}} (T_{\text{sa}} - T_{\text{int}}) \quad (3)$$

$q_{\text{conducción}}$: Cantidad de calor que se transfiere al interior e la edificación [W]

R_{total} : Resistencia térmica total [W/m²°C]

A_{total} : Área total sobre la cual se transfiere el calor [m²]

T_{int} : Temperatura interior de la edificación

De donde:

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{h_{\text{ext}}} + \frac{e_{\text{manto}}}{k_{\text{manto}}} + \frac{e_{\text{machihembrado}}}{k_{\text{machihembrado}}} + \frac{1}{h_{\text{int}}} \quad (4)$$

h_{ext} : Coeficiente convectivo exterior [W/m²°C]

e_{manto} : Espesor del manto asfáltico [mm]

$e_{\text{machihembrado}}$: Espesor del machihembrado [mm]

$k_{\text{machihembrado}}$: Conductividad térmica del machihembrado [W/m°°C]

k_{manto} : Conductividad térmica del manto asfáltico [W/m°C]

h_{int} : Coeficiente convectivo interior [W/m²°C]

h_{int} : 7 W/m²°C

Por lo tanto:

$$R_{total} = \frac{1}{h_{ext}} + \frac{e_{manto}}{k_{manto}} + \frac{e_{machihembado}}{k_{machihembado}} + \frac{1}{h_{int}} = \frac{1}{6,6666 \times 10^{-2}} + \frac{0,0032}{0,5} + \frac{0,05}{0,2} + \frac{1}{7} = 2,1462 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$q_{conducci3n} = \frac{1}{R_{total}} A_{Total} (T_{sa} - T_{int}) = \frac{1}{2,1462} (60)(32,2133 - T_{int}) = 27,9563(32,2133 - T_{int})$$

3.6.1.1.2 Cálculo de transferencia de calor en las paredes

3.6.1.1.2.1 Calculo de temperatura sol-aire T_{sa}

Tomando los datos de la tabla 8. Datos climáticos de la ciudad de Caracas

Tabla 12 Absortividad del elemento constructivo utilizado en las paredes de la vivienda modelo Cujisal

Elementos constructivos	Descripción	Absortividad (α)
Esmalte	Esmalte exterior de pared color amarillo claro	0,6

$$T_{sa} = T_{amb} + \frac{\alpha E_s - 50}{h_{ext}}$$

T_{amb} : Temperatura ambiente

α : Absortividad

h_{ext} : Coeficiente convectivo exterior [W/m²°C]

E_s : Radiación solar [W/m²°C]

h_{ext} =15 W/m²°C

$$h_{\text{int}} = 3 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$T_{\text{sa}} = T_{\text{amb}} + \frac{\alpha E_s - 50}{h_{\text{ext}}} = 24,4 + \frac{0,6(334,4) - 50}{15} = 34,4426\text{°C}$$

3.6.1.1.2 Cálculo de transferencia de calor por conducción en paredes (q_{conducción})

Tabla 13. Conductividad térmica de elementos constructivos de paredes

Elementos constructivos	descripción	Conductividad térmica (W/m°C)
Yeso	Capa exterior e interior de yeso (e=2mm)	0,3
Bloque concreto	Bloque de concreto (e=150mm)	0,3

Tabla 14. Área total de elementos constructivos de las paredes

Elementos constructivos	Descripción	Area total m ²
Pared compuesta	Pared compuesta por dos capas de yeso y bloque de e=150 mm con esmalte exterior.	18

La transferencia de calor por conducción a través de la pared compuesta de la edificación se calcula utilizando las ecuaciones 3 y 4.

$$R_{\text{total}} = \frac{1}{h_{\text{ext}}} + \frac{e_{\text{yeso}}}{k_{\text{yeso}}} + \frac{e_{\text{bloque}}}{k_{\text{bloque}}} + \frac{e_{\text{yeso}}}{k_{\text{yeso}}} + \frac{1}{h_{\text{int}}} = \frac{1}{6,6666 \times 10^{-2}} + \frac{0,02}{0,3} + \frac{0,15}{0,3} + \frac{0,02}{0,3} + \frac{1}{3} = 0,9677 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$$

$$q_{conducción} = \frac{1}{R_{total}} A_{Total} (T_{sa} - T_{int}) = \frac{1}{0,9677} (18)(34,4426 - T_{int}) = 18,6008(34,4426 - T_{int})$$

Para cada una de las paredes con área de 18m² se multiplica por el factor (2) por haber dos paredes con igual área y condiciones externas-internas:

$$q_{conducción} = \frac{1}{R_{total}} A_{Total} (T_{sa} - T_{int}) = 37,2016(34,4426 - T_{int})$$

Tomando el área total de la tabla 15:

Tabla 15 Área total de una pared compuesta de la vivienda modelo Cujisal

Elementos constructivos	Descripción	Área total m ²
Pared compuesta	Pared compuesta por dos capas de yeso y bloque de e=150 mm con esmalte exterior.	30

Calculamos la transferencia de calor a través de las paredes de área A=30 m², al igual que en el caso anterior se debe multiplicar por el factor (2) que representan el numero de elementos con esa área y iguales condiciones externas-internas, utilizando de la misma manera las ecuaciones 3 y 4.

$$q_{conducción} = \frac{1}{R_{total}} A_{Total} (T_{sa} - T_{int}) = \frac{1}{0,9677} (30)(34,4426 - T_{int}) = 31,0013(34,4426 - T_{int})$$

Tomando en cuenta los dos elementos

$$q_{conducción} = 62,0026(34,4426 - T_{int})$$

3.6.1.1.3 Transferencia de calor por transmisión

La radiación solar llega interactuar de dos maneras una de ellas es la radiación directa esta relacionada a la incidencia de los rayos solares, por otra parte también se encuentra la radiación difusa esta es la radiación solar que se difunde por toda la atmósfera. Por lo tanto la cantidad de radiación solar que finalmente absorbe o transmite la envolvente de una edificación depende de la absorptividad y transmisividad de las superficies además de la relación geométrica con respecto a los rayos del sol.

Por lo tanto:

$$q_{transmitida} = \tau A E_{total} \quad (5)$$

Donde:

$q_{transmitida}$: Cantidad de calor transmitido al interior de la edificación [W]

τ : Transmisividad

A : Área a través de la cual se transfiere calor (ventanas, puertas) [m²]

$$E_{total} = E_{directa} + E_{difusa} : \text{Radiación solar [w/m}^2\text{°C]} \quad (6)$$

Tomando como datos de entrada:

$$E_{total} = E_{directa} + E_{difusa} = 334,4 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$A_v = \text{Área de ventana} = 0,5 \text{ m}^2$$

$$\tau = \text{Transmisividad vidrio} = 0,82$$

De donde:

$$q_{transmitida} = \tau A E_{total} = 0,82(0,5)(334,4) = 137,1040 \text{ W}$$

Es importante destacar que para este cálculo se considera solo la mitad del área total de la ventana esto se debe al suponer la condición de 50% de apertura de la

misma con la finalidad de poder establecer una transferencia de calor por ventilación a través del elemento.

3.6.1.1.4 Trasterencia de calor por ocupantes

Para realizar la evaluación térmica en viviendas es importante tomar en cuenta la cantidad de calor que suministran los ocupantes de la misma tomando en cuenta las actividades físicas típicas que se llevan a cabo ya que sea mediante sistemas pasivos o activos de climatización una condición importante para los habitantes es el confort térmico que representa la exigencia de la habitabilidad.

Tomando en cuenta las bases teóricas de los mecanismos de transferencia de calor entre el hombre y el medio ambiente específicamente con el concepto de calor metabólico.

A continuación se muestra en la tabla 16, la cantidad de calor aproximado generado por un individuo dependiendo de una serie actividades físicas realizadas.

Tabla 16 Tasa de calor metabólico en función de la actividad

Actividad	W/m ²	Met
Acostado	46	0.8
Sentado relajado	58	1.0
Reparando un reloj	65	1.1
De pie relajado	70	1.2
Actividad sedentaria (oficina, vivienda, escuela, laboratorio)	70	1.2
Conduciendo un automóvil	80	1.4
Trabajando en diseño gráfico	85	1.5
De pie en actividad ligera (compras, laboratorio, industria ligera)	93	1.6
Dictando una clase	95	1.6
Actividades domésticas (afeitándose, lavándose, vistiéndose)	100	1.7
Caminando normalmente (2 km/h)	110	1.9
De pie, realizando una actividad ligera (vendiendo en una tienda, trabajo doméstico)	116	2.0
Colocando ladrillos (bloques de 15.3 kg)	125	2.2
Fregando ollas y platos (estando de pie)	145	2.5
Trabajo de jardinería (recogiendo hojas en un jardín)	170	2.9
Apisonando hierro o acero con un martillo neumático	175	3.0
Cortando trigo con una hoz	205	3.5
Arando un terreno con bueyes	235	4.0
Cargando una carretilla con piedras y mortero	275	4.7
Patinando sobre hielo (18 km/h)	360	6.2
Cavando con una pala (24 palas/min.)	380	6.5
Esquiando (9 km/h)	405	7.0
Cortando troncos con un hacha (peso 2 kg, 33 hachazos/min.)	500	8.6

Para ejemplificar la cantidad de calor aproximado generado por los ocupantes de la vivienda considerando que cada uno de ellos posee una superficie de piel de 1m^2 diseñada, se toma como data de entrada una familia promedio constituida por cuatro habitantes, una vez establecida la cantidad de habitantes se seleccionan cuatro actividades típicamente realizadas en el interior de una vivienda para cada uno de los ocupantes respectivamente.

Tabla 17 Actividad-ocupante

Ocupantes	Actividad	W	Met
1	Actividades domésticas (afeitándose, lavándose, vistiéndose)	116	2,0
2	Sentado relajado	58	1,0
3	Acostado	46	0,8
4	Trabajando en diseño gráfico	85	1,5

Por lo tanto la transferencia de calor total generada por los habitantes de la vivienda viene dada por:

$$q_{total-ocupante} = \sum_{i=0}^{i=n} q_{ocupant_i} = q_{ocupant_1} + q_{ocupant_2} + q_{ocupant_3} + q_{ocupant_4} = 116 + 58 + 46 + 85 = 305W$$

3.6.1.1.5 Transferencia de calor por ventilación

El aporte o disminución de calor neto de una masa de aire que entra en una edificación dependerá por tanto de su temperatura y la temperatura del aire que desplaza. Como el aire no es compresible, la cantidad de aire que entra debe ser igual a la que sale. Por lo tanto el enfriamiento o calentamiento de una edificación dependerá de que tan rápido y constante sea el desplazamiento del aire. Por lo tanto la transferencia de calor total generada por la ventilación de la vivienda viene dada por:

$$q_{ventilacion} = \dot{m} C_a (T_{amb} - T_{Int}) \quad (7)$$

$q_{\text{ventilacion}}$: Calor de ventilación

\dot{m} : Flujo Másico

C_a : Calor específico (aire C_a : $1000 \frac{J}{Kg^\circ C}$)

T_{amb} : Temperatura ambiente

T_{int} : Temperatura interior

3.6.1.1.5.1 Calculo de flujo másico

$$\dot{m} = \rho V_{\text{viento}} A_{\text{vent}}$$

Donde: (8)

ρ : Densidad del fluido (aire $\rho=1,2 \frac{Kg}{m^3}$)

V_{viento} : Velocidad del viento

A_{vent} : Área de ventana

Tomando los datos de entrada (tabla datos climáticos de Caracas)

$$\dot{m} = \rho V_{\text{viento}} A_{\text{vent}} = 1,2 \times 2,2 = 4,84 \frac{Kg}{s}$$

$$q_{\text{ventilacion}} = \dot{m} C_a (T_{\text{amb}} - T_{\text{int}}) = 4,84 \times 1000 (24,4 - T_{\text{int}})$$

$$q_{\text{ventilacion}} = 4840,0 (24,4 - T_{\text{int}})$$

Obteniéndose de esta manera la transferencia de calor generada por ventilación.

Sustituyendo las ecuaciones anteriores en la ecuación de balance térmico de edificaciones, al no existir una variación en el tiempo de la temperatura, es decir, encontrarse esta en estado estable la ecuación es igualada a cero, de esta manera se obtiene la temperatura interior de la edificación en la ciudad de Caracas.

$$27,9563 (32,2133 - T_{\text{int}}) + 37,016 (34,44426 - T_{\text{int}}) + 62,0026 (34,4426 - T_{\text{int}}) + 137,1040 + 305 + 4840 (24,4 - T_{\text{int}}) = 0$$

$$T_{\text{int}} = 24,7335^{\circ}C$$

Esta temperatura es sustituida y evaluada en cada ecuación a fin de obtener el calor absorbido o disipado por la estructura.

Tomando en cuenta las diferentes datas climatológicas se calcula las diferencias en la absorción y disipación del calor en los distintos elementos de la edificación.

3.7 Simulación (Herramienta computacional ECOTECT™)

El estudio de la respuesta de los elementos de una edificación en presencia de un régimen transitorio requiere entre otras cosas resolver la ecuación de calor de Fourier, lo cual no siempre es posible analíticamente, debiéndose recurrir a métodos numéricos. En líneas generales, estos métodos consisten en plantear sistemas de ecuaciones no lineales basados en la discretización espacial de los componentes de cerramiento, a cuya solución se llega aplicando variaciones incrementales de las solicitaciones climáticas hasta lograr la convergencia programas de computación como Ecotect, IES o EnergyPlus usan este tipo de métodos para predecir las condiciones ambientales al interior de una edificación).

ECOTECT v5.20 evalúa la respuesta de los elementos de una edificación en presencia de un régimen transitorio empleando el método de la admitancia, cuyo método parte de la suposición en la cual la temperatura interior de cualquier edificio siempre tienden a la temperatura media local del aire libre. Las posibles fluctuaciones en la temperatura exterior o la carga solar hará que la temperatura del aire interior pueda fluctuar de una manera similar, aunque con retraso y amortiguado en parte por la capacidad térmica y resistencia dentro de la estructura del edificio. Cuando el total

de todas las pérdidas de calor sea igual a la suma de todas las ganancias, se estabiliza las temperaturas internas.

En el método de la admitancia, la temperatura y los cálculos de carga son dos procesos separados. Como primer paso, la magnitud de las ganancias de calor y las pérdidas potenciales que actúan sobre la edificación se calculan para cada hora de cada del día, de la cual la media de los factores de carga diaria puede ser determinada. Estos son conocidos como factores de carga, ya que son relativas a las condiciones medias, no las condiciones reales. Las variaciones en el factor de carga instantánea en contra de cada medio día, se puede utilizar para determinar el estrés térmico relativo de cada zona está sujeta a cada hora del día. Estas variaciones son el resultado de la tensión en fluctuaciones cíclicas de la temperatura interna, de la que las temperaturas de cada zona horaria se pueden derivar.

Una vez detallada la temperatura interna por hora, un segundo cálculo se realiza para determinar la calefacción y la refrigeración absoluta cargas. Teniendo en cuenta las temperaturas interior y exterior de cada zona, el tejido, la ventilación y cargas de infiltración puede determinarse con precisión, junto con la energía solar y cargas internas.

Las cargas en zonas adyacentes son más complejas de determinar porque no pueden tomarse en cuenta en el primer análisis ya que las temperaturas internas no eran conocidas. Por lo tanto, iteraciones adicionales tanto del primer análisis como del segundo se llevan a cabo a continuación, para ser agregados en el tejido y tomar en cuenta el efecto entre el aumento de la infiltración de los espacios adyacentes.

Mientras que en resumen es un método simplificado, el Método de Admisión encapsula los efectos del flujo de calor por conducción a través de la trama de edificios, la infiltración y ventilación a través de las aberturas, ganancia solar directa a través de materiales transparentes, ganancia solar indirecta a través de elementos opacos, las ganancias de calor interno de los equipos, luces y las personas y los efectos del flujo de calor entre zonas.

La exactitud y relevancia de los resultados con cualquier otro método de cálculo, es necesario lograr un equilibrio entre precisión y simplicidad y flexibilidad.

El método de admisión es ampliamente utilizado en todo el mundo y ha demostrado ser una herramienta de diseño de gran utilidad. No es tan preciso como físicamente algunas de las técnicas más computacionalmente intensivas, como el factor de respuesta o métodos de diferencias finitas, sin embargo, para los efectos de la toma de decisión en el diseño, el método de admisión es la mejor opción.

La precisión relativa permite al diseñador para empezar a tomar decisiones informadas desde el principio, incluso si el modelo que se está trabajando es tan simple como una caja de seis lados. Con este modelo, el efecto de diferentes materiales de revestimiento en un clima particular, se puede determinar con bastante precisión, al igual que el efecto de los distintos coeficientes de recubrimiento en las fachadas diferentes. La penetración de Sol y el efecto de los dispositivos de sombra también puede ser investigado muy a fondo antes de la forma final del edificio incluso ha sido considerado.

Limitaciones

El método de admisión se basa en el concepto de la variación cíclica. Como resultado, es más adecuado en situaciones en que los cambios de temperatura y consumo de energía están cambiando de manera constante durante todo el día. Es menos adecuado en situaciones en que hay grandes cambios súbitos en los parámetros, como cuando un calentador grande o más frío se enciende. En estos casos el efecto es casi instantáneo, mientras que los efectos de convección y radiación de equipos reales se basarían en el tiempo. Además, el método no hace un seguimiento de la radiación solar en superficies cada vez que ha entrado en una zona. La radiación solar incidente se trata en la abertura de entrada, convirtiéndose en parte del espacio de carga, basada en los valores de ingreso interno.

Del mismo modo, la ventilación natural se trata de una abertura por la base de apertura. Los algoritmos son utilizados para determinar las tasas de flujo cruzado cuando se producen aperturas en los lados adyacentes o situadas frente de una zona, sin embargo las tasas de flujo de la masa de aire entre las aberturas individual no se calcula.

Efectos de ventilación natural: simplemente aumentar la ventilación y el aumento de la infiltración basada en la altura, el tamaño y la orientación de cada uno de apertura, la velocidad del viento y el terreno para establecer el modelo. Pila vertical efectos y las corrientes de convección internas no son también tratadas por el algoritmo.

Adicionalmente ECOTECH no utiliza sistema tradicional CAD ya que no es apropiado para el desarrollo inicial de diseño, por ser demasiado específicos en sus necesidades de insumos forzando a un diseñador a pensar matemáticamente en un momento en el que sólo están pensando realmente intuitivamente. Por lo tanto, una solución flexible e intuitiva es emplear el sistema de construcción relacional 3D dicho sistema es sorprendentemente simple, las relaciones inherentes entre los elementos de construcción con la finalidad simplificar la creación de la geometría, incluso las más complejas, y aumentar considerablemente su capacidad de edición.

Dentro de las aplicaciones de ECOTECH v5.20 se encuentran:

- Mostrar y animar las trayectorias de la sombra.
- Generar diagramas de ruta para el análisis de sombra instantánea.
- Calcular la radiación solar incidente sobre cualquier superficie y su porcentaje de sombreado.
- Elaborar los factores de la luz del día y los niveles de iluminación artificial.
- Calcular las cargas de calor mensuales y gráficos de temperatura por hora para cualquier zona.

A continuación se muestran los procesos llevados a cabo para el diseño, evaluación térmica de viviendas mediante el uso de ECOTECH específicamente la vivienda modelo ubicada en la Urb. el Cujisal seleccionada para este trabajo de investigación.

ECOTECT opera usando las denominadas zonas que son más o menos equivalentes a las capas en AutoCAD. Sin embargo, además del uso normal de las capas al grupo de objetos relacionados en un modelo, una zona en ECOTECT también puede tomarse en el sentido de una habitación en un edificio, más específicamente un solo volumen encerrado homogéneo de aire, dichas zonas se conocen como zonas termales y son un concepto muy importante en ECOTECT, como se describe en detalle a continuación.

El primer paso para el diseño de una edificación es crear las diferentes zonas que constituyen el diseño recordando que dichas zonas son ambientes dentro de la edificación por ejemplo baños, habitaciones etc. Un aspecto importante tomado en cuenta es la orientación de estas zonas con respecto al eje de coordenadas establecidos por el ECOTECT ya que de la orientación del elemento es fundamental para el análisis de trayectorias de sombras.

3.7.1 Crear Zona Térmica:

1. Primero se selecciona el botón de zona en la barra de herramienta de modelización.
2. Seleccionar las coordenadas (x, y, z) dentro del plano del dibujo donde se va a ubicar dicha zona.
3. Establecer las dimensiones de la zona colocando las coordenadas correspondientes a cada uno de los nodos que constituyen el volumen.
4. Para finalizar se le asignan colores y nombres a cada una de las zonas creadas y se asignan características particulares a cada zona número de habitantes, sistemas de acondicionamiento de aire etc.

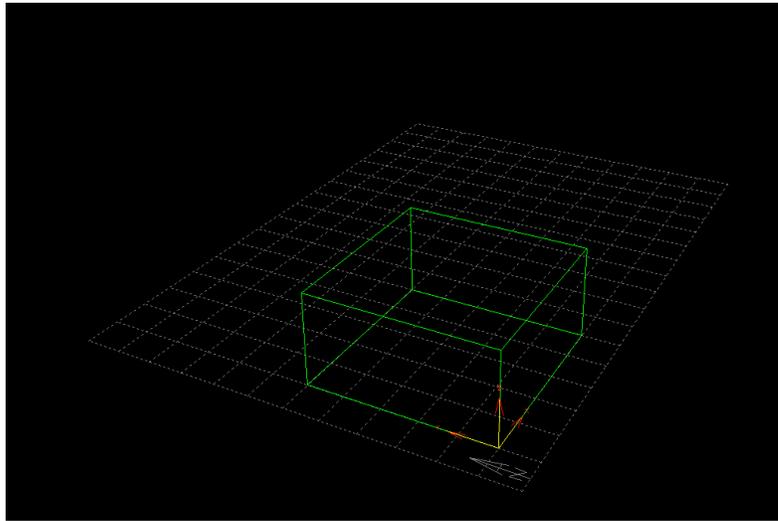


Figura 3-2. Creación de zona termica en Ecotect

Después de crear una zona se revisan los elementos individuales ahora en el modelo. Ya que hay que tomar en cuenta que hay 6 elementos en cada zona (como se muestra a continuación). La base del plano (o planta) es el elemento principal, con las 4 paredes y el techo 1, todos los elementos secundarios de la planta. Cualquier modificación de la planta afectará a sus objetos secundarios. Esto es debido a la relación que los une, que es importante para la evaluación modelos eficientes y cálculos precisos.

3.7.2 Crear el techo:

1. Primero se selecciona crear un nuevo objeto en el panel de control específicamente en la opción que permite la creación de techos a dos aguas y se coloca sobre la zona deseada.
2. Crear una cubierta a dos aguas se revisan los elementos individuales presentes en el techo ahora en el modelo. En primer lugar si los elementos se agrupan, el techo plano generado por la zona y el techo a dos aguas, se desagrupa el techo

usando el botón Desagrupar. Ya que ECOTECH lo interpreta como un techo doble.

3. Se selecciona cada elemento de la cubierta de forma individual, utilizando el botón Seleccionar. Se toma en cuenta que hay 7 elementos del techo (como se muestra a continuación). La base del plano es de planta tipo, con los 6 restantes elementos del techo de todos los tipos.
4. Se configuran las dimensiones del techo asignando los valores respectivos a cada uno de los parámetros presentes en el diseño del elemento.

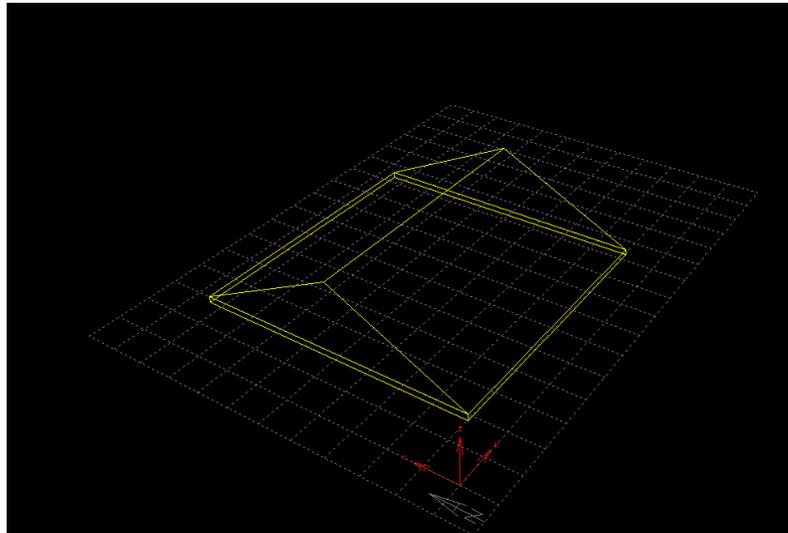


Figura 3-3. Creación de techos en Ecotect

3.7.3 Crear partición:

1. Se selecciona crear una partición en el panel de control específicamente en la opción que permite la creación de particiones y se coloca sobre la zona deseada.
2. Las particiones son similares a la creación de línea, la diferencia es que las particiones están automáticamente ajustadas a la altura por defecto. Esto hace que la geometría de entrada sea mas rápida, con la cantidad mínima de

información requerida en este paso se diseñan todas la particiones presentes dentro de la edificación.

3. Después de crear una partición se revisan los elementos individuales ahora en el modelo. Con el botón Seleccionar, se selecciona cada elemento de la partición de forma individual. Tomando en cuenta que hay tres elementos en la partición (como se muestra en la figura 3-4). La línea de base es el elemento principal, con los 2 elementos de particiones asociados a la línea de base. Cualquier modificación de la línea de fondo afectará sus objetos secundarios. Esto es debido a la relación que une, que es importante para ambos modelos eficientes y cálculos precisos.

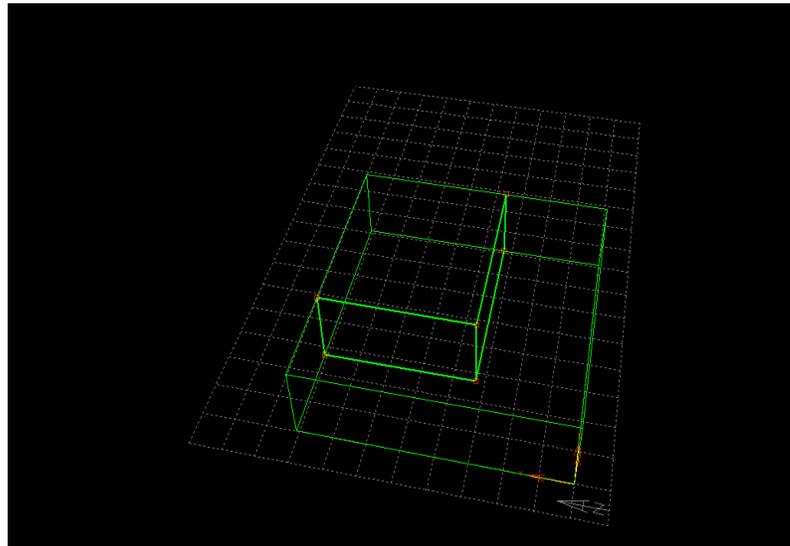


Figura 3-4. Creación de particiones en Ecotect

A todos los objetos en el modelo ECOTECT se le pueden asignar dos materiales diferentes, conocidas como sus materias primas y un suplente. Cuando un objeto es creado inicialmente por defecto su material alternativo es el mismo que el material básico. El efecto de la selección de un material alternativo a emplear dependerá del tipo de elemento del objeto. Para los objetos tales como paredes, techos, pisos y techos el material alternativo se utiliza cuando el objeto se superpone a otro objeto que pertenece a la superficie externa de otra zona.

3.7.4 Selección de materiales constructivos

Esto especifica el material con el cual se ha construido el elemento. Estos se seleccionan de una biblioteca de materiales donde se definen las propiedades térmicas del objeto. Luego se asignan materiales a los objetos usando el panel de selección de información o el panel Material para tarea.

Una de las características fundamentales del modelo ECOTECT es editabilidad, la habilidad de ser capaz de arrastrar y reordenar las zonas con gran rapidez y facilidad. Cuando dos zonas se sitúan justo al lado o encima de los demás, habrá algunas porciones de la pared, suelo o techo que se superponen pared, suelo o techo elementos en la zona adyacente. En un edificio real, es poco probable que el mismo material se utilizará en la acumulación y la no superposición de las secciones, por lo que el material alternativo se utiliza para las demás zonas se solapan.

Para ventanas, puertas, paneles, huecos y Fuentes, el material alternativo se utiliza cuando el objeto está activado. Un objeto puede ser activado para simular la apertura de una ventana en un momento determinado o de encender un calentador. Durante el período de activación, el material alternativo sustituye materia prima de un objeto en los cálculos basados en el tiempo.

3.7.5 Cálculo de propiedades térmicas

Al seleccionar este botón se vuelve a calcular las propiedades térmicas de la materia sobre la base de las capas nuevo componente. Esto incluye el valor U o coeficiente global de transferencia de calor, admisión, desfase térmico, decremento, anchura y peso. A menos que se especifique ECOTECT ignorará cualquier cambio que realice en esta ficha, ya que no utiliza los datos. La razón de que esto es opcional es que a menudo las propiedades térmicas del elemento en general es conocida, pero la naturaleza exacta de todas sus capas de componentes no lo son. Con esta opción se define la composición de materiales presentes en elementos constructivos y sus

respectivas propiedades termo físicas siguiendo el patrón que se muestra a continuación.

Nombre del elemento define a cada de ellos mediante un nombre corto tomando en cuenta que no puede haber más de 12 capas en cualquier material compuesto.

Define el ancho de cada capa en milímetros (metros/1000).

Se suministra la densidad de cada capa en kg / m^3 .

Se suministra el calor específico de cada capa en Julios por kilogramo grados Celsius [$\text{J} / \text{kg} \text{ } ^\circ \text{C}$].

Se suministra la conductividad de cada capa en vatios por metro grados Celsius [$\text{W} / \text{m} \text{ } ^\circ \text{C}$].

Una vez suministrados todos estos parámetros ECOTECH Calcula las propiedades de la composición de capas arrojando la siguiente lista de propiedades:

Propiedades térmicas - materiales opacos

- U-valores ($U: \text{W} / \text{m}^2 \text{ K}$),
- Admisión específicos ($Y: \text{W} / \text{m}^2 \text{ K}$)
- Desfase térmico (Lag: HRS),
- Disminución térmica (Dec: 0-1)
- Absorción solar (Abs: 0-1).

Propiedades térmicas - Ventana de Materiales

- Valores U ($U: \text{W} / \text{m}^2 \text{ K}$),
- Admisión específicos ($Y: \text{W} / \text{m}^2 \text{ K}$),
- Coeficientes de sombra (SC: 0-1),
- Alternando las ganancias solares (SG: 0-1),
- Índices de refracción (RI) y
- Transparencia (Trans: 0-1).

Propiedades de Superficie

- Emisividad,
- Especularidad y
- Rugosidad.

3.8 Banda de confort

El comportamiento térmico de viviendas esta relacionado a la zona climática donde ha sido ubicada la edificación, la razón para realizar este estudio es evaluar como es el comportamiento térmico de una vivienda INAVI modelo Cujisal, ubicado en Mariara Edo. Carabobo, en una zona cálido-húmeda de Venezuela, y calcular una banda de confort térmico, con la finalidad de advertir si la vivienda se encuentra dentro de esta zona. El estudio del confort es subjetivo, son muchos los parámetros que se deben estudiar al momento de evaluar si existe confort o no en un ambiente.

El modelo de adaptación es uno de las decenas de índices de confort que han sido establecidos al pasar de los años. En este Trabajo Especial de Grado de evaluara la condición de confort con el modelo de adaptación establecido por Humphreys en los años 70, en donde se define la temperatura neutral en función de la temperatura media exterior para edificaciones climatizadas por medios pasivos:

$$T_n = 17,6 + 0,31T_{media}$$

La temperatura media obtenida es:

$$\text{La } T_{media} = 24,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_n = 25,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Se acepta un rango de $\pm 1,75^\circ\text{C}$ cuando el calculo se hace con la temperatura media mensual, a fin de atender la variabilidad de respuesta de las personas para adaptarse a un ambiente, el rango es de ± 2 cuando se calcula con la temperatura media anual.

Estableciendo una banda de confort para la vivienda INAVI modelo Cujisal, ubicada en Mariara Edo. Carabobo con un rango de $23,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ a $27,0 \text{ } ^\circ\text{C}$.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Régimen permanente

Con las fórmulas establecidas anteriormente para el estudio de viviendas en estado estable con distintas fuentes de calor que constituyen el flujo de calor en una edificación y utilizando el balance térmico igualado a cero, se obtienen las Temperatura interna en cada una de las zonas climáticas que se establecieron, ubicadas a diferentes alturas Caracas (950 msnm), Maracaibo (65 msnm) y Mérida (1600 msnm), con la finalidad de comparar el comportamiento térmico de este modelo de vivienda en diferentes condiciones climáticas dentro de Venezuela.

En la tabla 18 se observa que Mérida posee una temperatura en el interior de la vivienda de 24,0 °C la más baja de los casos estudiados, mientras que en Caracas la Temperatura alcanza los 24,7°C en estos dos casos las viviendas se encuentran dentro del rango de confort térmico establecido, mientras que en el caso de Maracaibo la vivienda alcanza una temperatura interna de 30,5°C, por lo que se sale de la escala de confort establecida, sin embargo se debe tomar en cuenta que la escala de confort debe ser calculada para cada zona climática, ya que esta depende de muchos factores entre ellos los climáticos, aunque también de la adaptación fisiológica, psicológica y sociológica de cada individuo.

Tabla 18. Temperatura interior en una vivienda INAVI en 4 zonas climáticas en Venezuela

Ciudad	Temperatura interna (T_{int})
Caracas	24,7°C
Maracaibo	30,5°C
Mérida	24,0°C

Tabla 19. Flujo de calor en una vivienda INAVI en 4 zonas climáticas de Venezuela

Elementos	Caracas	Maracaibo	Mérida
Techo	209,1075 W	73,6313 W	-39,0857 W
Pared	361,1940 W	143,7023 W	-40,3153 W
Pared	601,9894 W	239,5036 W	-67,1922 W
Ventanas	137,1040 W	75,5829 W	19,3351 W
Ventilación	-1614,14 W	-860,5520 W	-177,6280 W
Ocupantes	305 W	305 W	305W

4.2 Mediciones *in situ*

HOBO 4- Channel External

Canal 1 Habitación 1

Canal 2 Habitación 3

Canal 3 Habitación 2

Canal 4 Cuarto de baño 2

HOBO RH, Temp, Light External

Canal 5 Sala-cocina-comedor

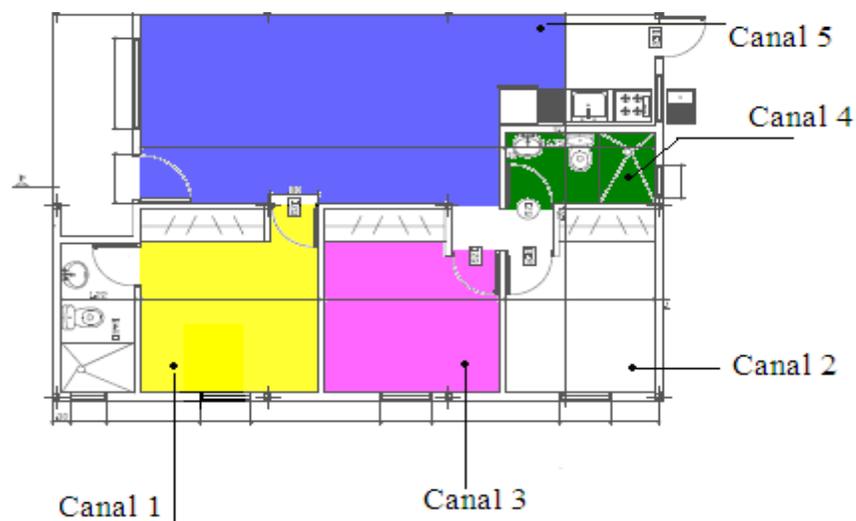


Figura 4-1 Distribución de canales en la vivienda INAVI modelo Cujisal

Estos equipos se colocaron en la distribución mostrada por la vista de planta de la vivienda que se muestra a continuación. Durante un periodo de 14 días.

Las figuras 4-2, 4-3, 4-4 y 4-5 son los resultados de la data obtenida con los HOBOS 4- Channel External que se colocaron en la casa Modelo Cujisal en Mariara Edo. Carabobo, El primer canal pertenece a la habitación principal, de la casa, el canal 2 pertenece a la habitación.

En la data recopilada la primera gráfica (Casa José Ríos) corresponde al equipo HOBO 4-Channel External y muestra la variación de la temperatura del aire en función del tiempo para cada una de las áreas en las cuales se colocaron sensores, se puede apreciar de las curvas que estas mantienen una tendencia similar a lo que se espera en cuanto a la variación de la temperatura en países de clima cálido como Venezuela, en los cuales la temperatura entre el día y la noche no varía de manera abrupta. En el período comprendido entre el 09-01-2009 y 23-01-2009 se puede apreciar que el día con la variación de temperatura más significativa del período es el 19-01-2009 día en el se logra alcanzar la temperatura más elevada durante el día específicamente a las 2:30 PM, lo que se traduce como la condición más desfavorable a lo que confort térmico se refiere alcanzando los 32,75 °C en la habitación principal correspondiente al canal 1 como máximo del día para una de las áreas de estudio es importante señalar que en este caso de estudio no se toman en consideración las temperaturas mínimas por las condiciones climáticas de la región que no presentan variaciones abruptas entre las temperaturas máximas y mínimas como se puede apreciar en la habitación principal el valor mínimo de temperatura se alcanzó el día 14-01-2009 con aproximadamente 24,79°C esta variación de temperatura no solo se debe a las condiciones climáticas de la región factores como la apertura o cierre de puertas y ventanas generan aumento o disminución de la temperatura en el área de estudio el flujo del viento dentro de la edificación es otro factor que afecta la data recopilada las actividades realizadas dentro de la edificación por los habitantes además de la carga térmica añadida por equipos electrónicos son responsables de esta variación. En los casos en los que la variación de la temperatura sea de manera pronunciada se deben tomar en consideración estas variaciones para poder establecer

una banda de confort razonable. En este caso de estudio cabe señalar que las mediciones se realizaron con cierre parcial de puertas y total de ventanas durante el día debido a que la vivienda se encuentra deshabitada y con apertura parcial de puertas y ventanas durante la noche.

Las figuras que a continuación se muestran son los datos obtenidos con las lecturas realizadas por los HOBOS colocados en las distintas habitaciones de la vivienda modelo Cujisal, las primeras cuatro gráficas representan la temperatura del aire en el interior de cada zona, en la quinta gráfica se observara las diferencias de temperatura existentes en las zonas en donde fueron colocados los sensores.

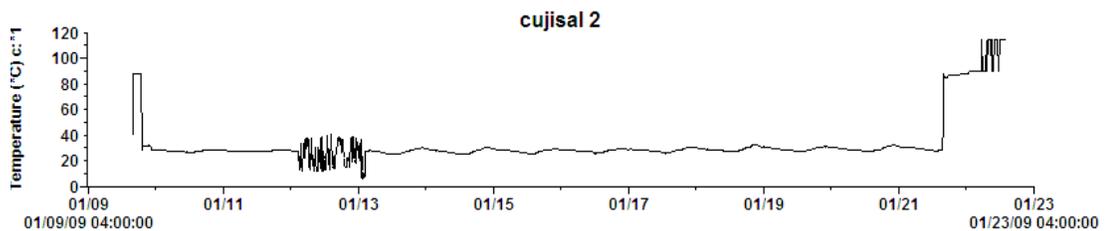


Figura 4-2 Lectura de la temperatura del aire en el canal 1

En la figura 4-2 se observa que el rango de variación de la Temperatura interior de la habitación 1 es periódico alcanzando temperaturas máximas de 32,76 °C y mínimas de 24,79 °C durante el período de mediciones en la habitación principal, en los días 12 y 13 de enero se observa una interferencia en la lectura, ocasionada por la caída del sensor al suelo.

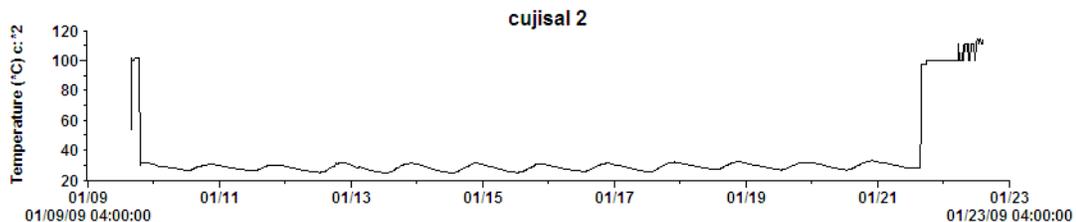


Figura 4-3 Lectura de la temperatura del aire en el canal 2

En la figura 4-3 observamos la temperatura del aire en el interior de la habitación 3 la temperatura máxima obtenida en las mediciones de esta habitación es de 32,76 °C y la mínima de 24,79 °C, en esta habitación el sol entra por la tarde, debido a que una de sus paredes esta ubicada hacia el oeste

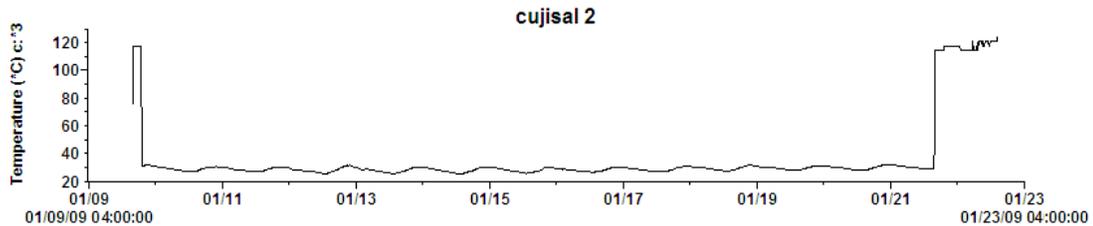


Figura 4-4 Lectura de la temperatura del aire en el canal 3

El canal 3 fue colocado en la habitación 2, obteniendo una lectura máxima de temperatura de aire interior de 31,93 °C y una mínima de 25,56 °C que se observa en la figura 4-4.

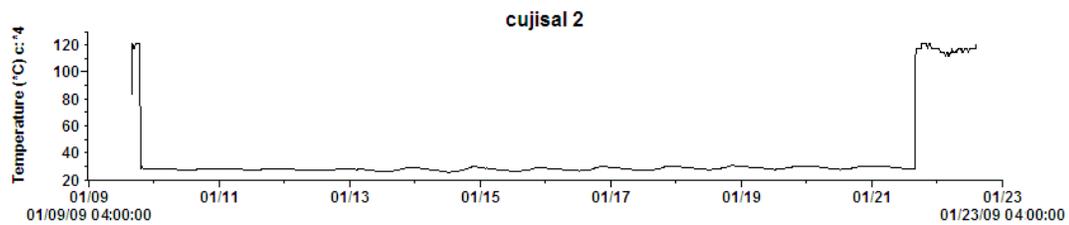


Figura 4-5 Temperatura del aire en el canal 4

En la figura 4-5, la temperatura máxima del aire fue de 31,71°C y la mínima de 25,17 °C, siendo estas las lecturas extremas en el cuarto de baño 2.

Con los datos de temperatura del aire obtenidos a través de los HOBOS en las diferentes habitaciones de la vivienda se establece que existe un lapso en donde la temperatura interior se encuentra dentro de la banda de confort térmico, sin embargo, existe un lapso en donde la edificación se sale del rango establecido encontrando por encima de la temperatura máxima de confort establecida con el modelo de adaptación.

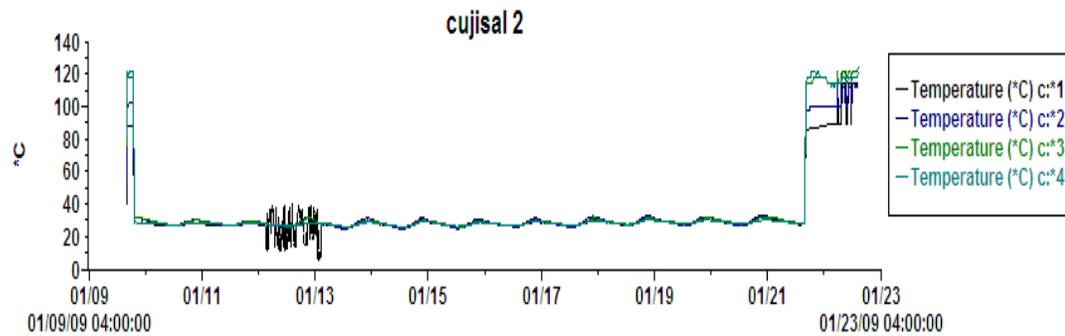


Figura 4-6 Variación de temperaturas del aire en el tiempo en los canales 1, 2, 3 y 4

Las habitaciones de la vivienda modelo cujisal presenta muy pequeñas variaciones en cuanto a las lecturas obtenidas con los HOBOS colocados en ellas, los cuatro canales muestran una variación periódica durante los días en los que el equipo fue colocado, observándose que la variación de la temperatura del aire en las diferentes habitaciones es muy parecida, aunque los picos de temperatura, es decir, la temperatura máxima y mínima no se alcanzan los mismos días en las diferentes habitaciones. Esto se debe a que todas las habitaciones de la casa no reciben la misma cantidad de radiación solar, por lo que la orientación de la vivienda afecta las pérdidas y ganancias de calor en una edificación.

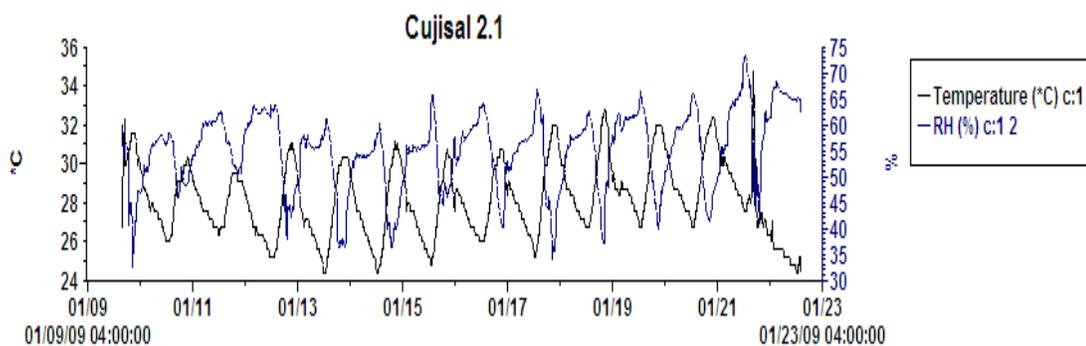


Figura 4-7 Temperatura y humedad vs. Tiempo

En la figura 4-7 se observa la data recopilada que corresponde al equipo HOBO RH, Temp, Light External, donde se muestra la evolución de la temperatura y

humedad relativa del aire en función del tiempo en el área correspondiente a la Sala-comedor de la vivienda podemos observar que existe una tendencia en cuanto a la evolución de la temperatura tomando en cuenta el tipo de clima de la región además de observar una relación entre la humedad relativa y la temperatura del aire de manera inversamente proporcional una de la otra. Podemos apreciar de la curva que el día 19-01-2009 correspondiente al periodo de mediciones presenta el máximo pico de temperatura del aire durante el día para esta área con aproximadamente $32,76\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el día con una humedad relativa de aproximadamente $43,2\%$ a manera ilustrativa podemos decir que el mínimo de temperatura durante el período de mediciones se alcanza el día 13-01-2009 con aproximadamente $24,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante la noche con una humedad relativa de aproximadamente 58% .

4.3 Simulación (Herramienta computacional Ecotect)

4.3.1 Evaluación de temperatura interior

Los valores de temperatura en los espacios interior obtenidos, determinan la evolución de este parámetro en el tiempo con respecto a la temperatura en el ambiente, esta comparación da una aproximación del comportamiento térmico de cada uno de los espacios en un momento determinado.

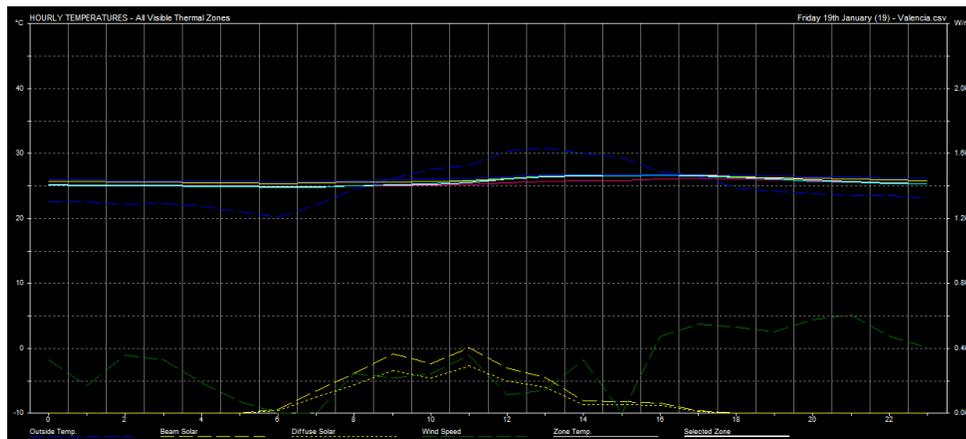


Figura 4-8 Evolución de temperatura Enero 19-2000

En la figura 4-8 se observar en principio la evolución de la temperatura ambiente durante la 24 horas del día 19-01-2000, durante este día particular la temperatura ambiente se encuentra en un rango aproximado de 20 a 30°C, además se aprecia la evolución en el tiempo de la temperatura en cada uno de los espacios interiores manteniendo un rango de temperatura global para todas las áreas con tendencia más homogénea sin quiebres abruptos de temperatura como los presentes en la evolución de la temperatura en el ambiente exterior. Durante la primeras 8-9 horas la temperatura en el ambiente está por debajo de la temperatura en cada una de las zonas, esto se debe principalmente a las variaciones cíclicas por las cuales pasan las edificaciones cada 24 horas durante el período cálido del día el calor pasa del ambiente a la edificación, donde parte de este calor se almacena, y por la noche, cuando las temperaturas descienden, el flujo de calor se invierte estableciendo un flujo periódico de calor. Adicionalmente se muestra la velocidad del viento en este gráfico no se ofrece una escala visual, ya que no tienen una relación directa con la temperatura interna como la radiación solar, sin embargo sigue siendo muy importante para ver cómo es fluctuante. La escala de velocidad del viento en intervalos de la gráfica es de 0 m/s en el eje inferior a 6 m/s en la parte superior. Posteriormente se muestra la evolución de la radiación directa y difusa este parámetro permite evaluar la cantidad de calor que se dispone proveniente de la bóveda celeste con la finalidad de aprovechar el mismo dependiendo de cuál sea el caso.

En la tabla 20, que se muestra a continuación se representa la respuesta térmica de la vivienda al ser evaluada bajo las condiciones climatológicas establecidas. Se puede apreciar el promedio de temperatura dentro de la zona la temperatura del suelo además de la cantidad de calor conducida a través de los elementos constructivos de la zona así como la cantidad de calor que se admite, es importante conocer la cantidad de calor que se transfiere hacia la edificación por cada una de las zonas ya que permite apreciar el aporte particular y permite al diseñador corregir convenientemente dichos aporte, adicionalmente se muestra el factor de reducción.

Tabla 20 Evolución de temperatura en el tiempo por zona

Horas	Temperatura °C				
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
0	25.8	26.4	26.2	25.8	26.6
1	25.8	26.2	26.0	25.6	26.4
2	25.6	26.1	25.8	25.4	26.3
3	25.5	25.9	25.6	25.2	26.1
4	25.4	25.9	25.6	25.1	26.0
5	25.4	25.8	25.5	25.1	26.0
6	25.3	25.8	25.5	25.0	26.0
7	25.3	25.9	25.6	25.0	26.0
8	25.4	25.9	25.7	25.2	26.1
9	25.5	25.9	25.6	25.2	26.0
10	25.5	25.9	25.7	25.3	26.1
11	25.6	25.9	25.7	25.4	26.1
12	25.7	26.0	25.8	25.5	26.2
13	25.7	26.0	25.8	25.4	26.2
14	25.7	26.1	25.9	25.5	26.3
15	26.1	26.3	26.2	25.9	26.5
16	26.3	26.4	26.3	26.1	26.7
17	26.4	26.5	26.4	26.3	26.7
18	26.4	26.5	26.3	26.3	26.7
19	26.3	26.4	26.2	26.1	26.6
20	26.3	26.4	26.2	26.1	26.6
21	26.2	26.3	26.1	26.0	26.5
22	26.1	26.2	25.8	25.8	26.4
23	26.0	26.1	25.6	25.6	26.1

La tabla 20 muestra la evolución de la temperatura en el tiempo para este caso se evaluó la evolución de este parámetro durante 24 horas 19-01-2000, con la finalidad de ilustrar el comportamiento de cada uno de los espacios sometidos a las mismas condiciones de clima esto, es de suma importancia ya que las viviendas no se comportan como un volumen de control uniforme la misma reacciona de manera diferente en cada uno de los espacios que la constituyen al estímulo climatológico generando una visión general en cuanto a los valores máximos y mínimos de temperaturas que son alcanzados en los espacios interiores.

Los resultados obtenidos por esta evaluación al ser reproducidos por períodos de tiempo mínimos de un año permiten desarrollar la evolución de temperatura anual en los espacios interiores data que permite establecer la cantidad de tiempo en el cual la vivienda como conjunto y como composición de espacios se encuentra dentro de la banda de confort establecida por el diseñador.

4.3.2 Ganancias y pérdidas de calor

La evolución en el tiempo de las ganancias y pérdidas de calor dentro de una edificación determinan la concepción final de la misma en cuanto al confort térmico para los habitantes. Por lo tanto asegurar las condiciones térmicas internas contando con controles pasivos podría evitar la necesidad de recurrir a sistemas de acondicionamiento de aire, pero incluso si fuesen necesarios su funcionamiento pudiese ser el menor posible.

Adicionalmente las fuentes de calor que interactúan con la envolvente de la edificación definen dependiendo de su magnitud la necesidad de recurrir a controles estructurares que modifiquen de manera conveniente las ganancias o pérdidas de calor que crean un ambiente confortable.

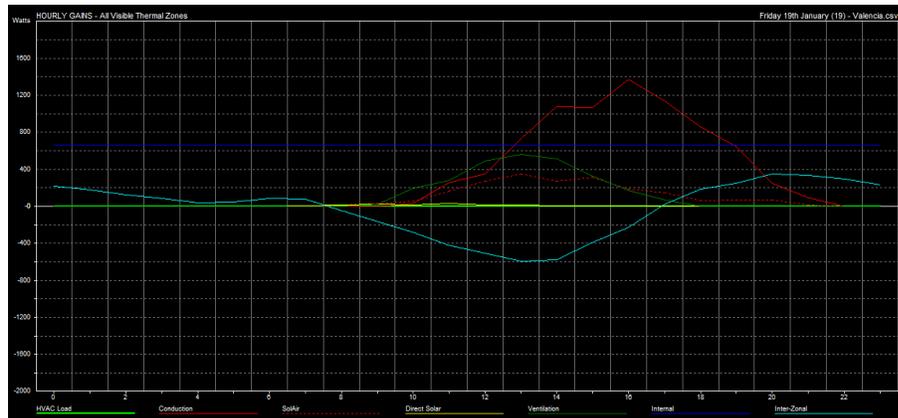


Figura 4-9 Flujo de calor todas las zonas Enero 19-2000

En la figura 4-9 se puede apreciar la variación de calor en el tiempo por diferentes fuentes de calor como sistemas de acondicionamiento de aire, conducción a través de materiales constructivos, ventilación, fuentes internas de calor dentro y entre zonas, ganancia de calor solar a través de elementos transparentes, ganancias indirectas a través de elementos opacos.

Las ganancias de calor de calor relacionadas con los habitantes y equipos electrodomésticos se mantiene constante durante las 24 horas del día en 700w esto se debe a que se establece la generación energética de una familia de dos personas la transferencia de calor por conducción es el parámetro más significativo dentro de la gráfica ya que genera el mayor aporte de flujo de calor hacia el interior de la edificación. Durante las primeras horas del día se aprecia que la ganancia de calor por conducción está cerca de cero esto se debe a que durante estas horas la edificación está cumpliendo su ciclo periódico de calor en estas horas el proceso se invierte y la fuente de calor es la edificación sin que se logre perder todo el calor acumulado durante el día anterior.

Una vez que culmina este ciclo cercano a las 10:00 AM se puede apreciar que aumenta progresivamente la transferencia de calor por conducción debido al aumento de la diferencia de temperatura entre ambiente exterior y el interior de la vivienda siendo máxima la misma cerca de las 14:00 horas lo que no implica un pico máximo

en la curva ya que la vivienda sigue ganando calor del medio ambiente aproximadamente hasta la 16:00 horas, luego se puede apreciar el descenso en cuanto a la transferencia de calor debido a que las diferencias de temperaturas descienden paulatinamente a medida que se acerca la noche y asociado a esta el calor comienza a fluir desde el interior de la vivienda como una fuente al exterior de la misma o medio ambiente que funciona como sumidero de calor esta inversión de flujo de calor termina cuando que se invierten nuevamente las diferencias de temperatura.

En la grafica 4-9 también se puede observar la evolución de flujo de calor entre zonas adyacentes esta curva muestra de manera general cómo se relacionan las diferentes zonas entre sí mediante diferencias de temperatura que generan flujos de calor en diferentes direcciones.

Durante las primeras horas del día 0-8 horas se aprecia una ganancia de calor aportada por la relación entre zonas, esto se debe principalmente a la inercia térmica de los materiales constructivos de la vivienda adicionalmente la conductividad térmica de la vivienda en tomada como un volumen general. Durante estas horas las temperaturas interiores se encuentran alrededor de los $25,5^{\circ}\text{C}$ promedio para todas las zonas siendo estas cercanas a los valores máximos alcanzados durante el día lo que genera flujos de calor entre zonas significativos independientemente de la temperatura exterior que durante estas horas no aporta flujos de calor al interior de la vivienda.

La intensidad de este flujo de calor interno comienza a disminuir paulatinamente a medida que desciende la temperatura interior de cada una de las zonas se aprecia en la grafica 4-9 que la caída en la intensidad del flujo de calor interior culmina cuando la vivienda comienza a experimentar los efectos del aumento progresivo de la temperatura en el ambiente aproximadamente a las hasta las 16:00 horas, debido a que por conductividad como un volumen global no genera una respuesta inmediata la vivienda comienza a aumentar su temperatura interna y comienza nuevamente un aumento en la intensidad del flujo de calor entre zonas.

Adicionalmente las masas de aire que circulan a través de la vivienda aportan un flujo de calor al interior de la misma haciéndose notable durante las horas del día

en las cuales las temperaturas ambientales alcanzan su valor máximo, el efecto de la ventilación puede aprovecharse para disminuir la tasa de flujo de calor dentro de la vivienda siempre que el caudal másico de aire desplace una mayor cantidad de masa del mismo.

La tabla 21 que se muestra a continuación ilustra la sumatoria de energía en forma de calor proveniente de las diferentes fuentes de calor que interactúan con la vivienda el día 19-01-2000, esto permite determinar las ganancias y pérdidas de calor durante un día particular a la cual se somete la envolvente. Si se repite este proceso durante períodos de tiempo más extensos, años, se generan resultados de valiosa importancia para un diseñador como es el consumo energético de una edificación, ya que al evaluar el comportamiento térmico de edificaciones es importante aprovechar dichas ganancias y pérdidas de calor convenientemente como herramienta para el mejoramiento del confort.

Tabla 21 *Ganancias y pérdidas de calor global*

HORA	FABRIC	SOLAR	VENT.	INTERN	ZONA
-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	0	0	0	665	217
1	0	0	0	665	178
2	0	0	0	665	123
3	0	0	0	665	86
4	0	0	0	665	39
5	0	0	0	665	49
6	0	0	0	665	83
7	0	6	0	665	77
8	14	13	0	665	-46
9	33	21	24	665	-168
10	91	19	193	665	-281
11	419	27	277	665	-420
12	626	19	491	665	-509
13	1086	16	565	665	-596
14	1354	5	512	665	-576
15	1377	5	328	665	-391
16	1563	4	170	665	-224
17	1284	1	66	665	21
18	922	0	0	665	184
19	718	0	0	665	246
20	315	0	0	665	351
21	113	0	0	665	335
22	0	0	0	665	295
23	0	0	0	665	236
-----	-----	-----	-----	-----	-----
TOTAL	9916	137	2627	15960	-693

La constitución de los elementos constructivos que componen una vivienda determina la cantidad de energía que se transfiere al interior de la misma por lo tanto la integración de elementos.

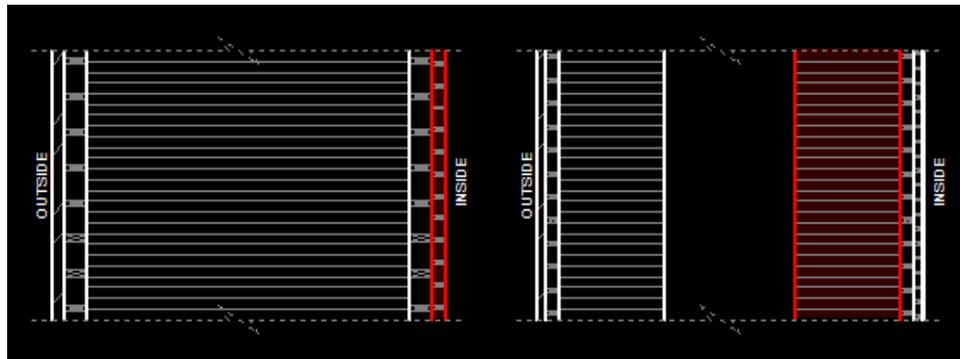


Figura. 4-10 Composición de pared tradicional y con cámara de aire de 75 mm

En la figura 4-10 se muestra como pueden constituirse en dos formas diferentes las paredes de una vivienda, a la izquierda tenemos la constitución tradicional de una pared en una vivienda, a la derecha se ha proyectado una cámara de aire de unos 75 mm, con el objetivo de observar los cambios que ocurren en el interior de la vivienda con estos cambios. En la figura 4-11, se realizó el mismo procedimiento se coloca en la figura a mano derecha la composición de un techo tradicional, mientras que a la derecha se encuentra la composición de un techo con una cámara de aire de 75mm. En ambos casos se observó un ligero cambio en la temperatura interna de la vivienda, mejorando el porcentaje de tiempo en donde la vivienda se encuentra dentro de la banda de confort establecida de 23 °C a 27 °C.

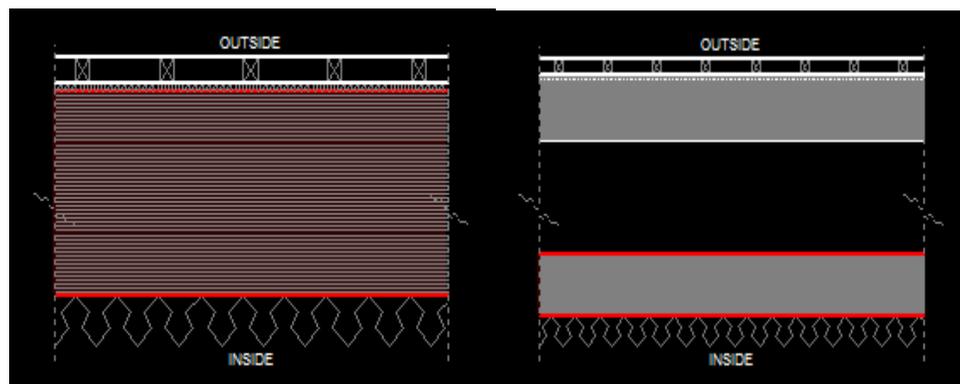


Figura 4-11 Composición de techo tradicional y con cámara de aire 75 mm

4.3.3 Ganancias y pérdidas de calor global con cámara de aire

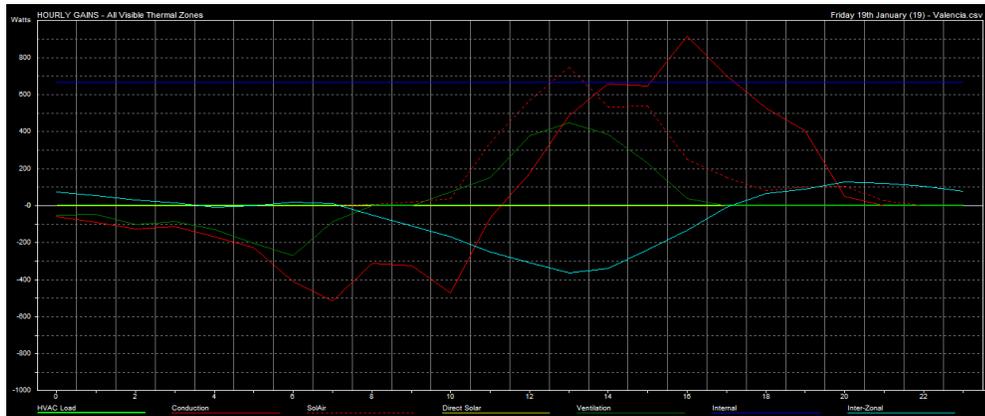


Figura 4-12 Flujo de calor todas las zonas Enero 19-2000

El mayor porcentaje de flujo de calor en una vivienda ocurre por conducción es por ello que al colocar una cámara de aire se observa una disminución en el flujo de calor de casi 1400 W sin la cámara de aire a 800 W con la cámara de aire, y una disminución un aumento en horas de dentro de la banda de confort establecida con el modelo de adaptación de Humphrey en un 1% de horas anuales.

4.3.4 Distribución anual de temperatura

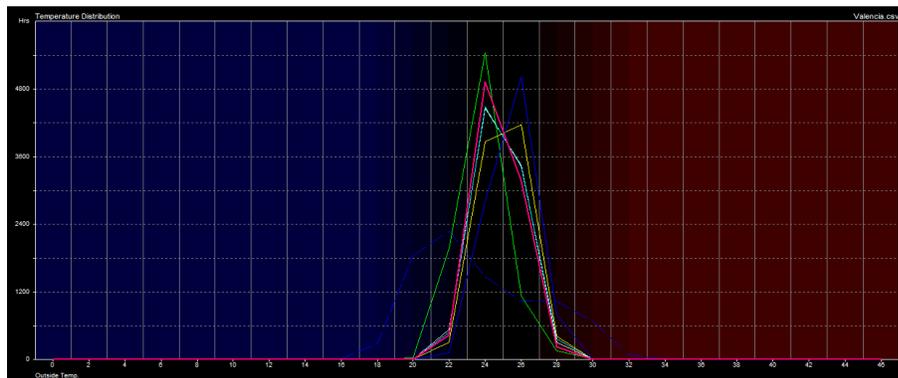


Figura 4-13 Distribución anual de temperatura todas las zonas

La figura 4-13 muestra la evolución de la temperatura durante un periodo de un año para este caso de estudio se toma el año 2000, el eje vertical representa el número de horas y el eje horizontal representa la temperatura, la curva de la temperatura ambiente se representa como una curva discontinua de color azul mientras las curvas correspondientes a las temperaturas de las zonas interiores se representan como líneas continuas de colores.

Esta grafica representa el número de horas durante un año en las cuales se mantuvo una temperatura generando una visualización estadística de la evolución en el tiempo de la temperatura.

Adicionalmente se muestran dos regiones una de color azul y otra de color rojo estas representan la banda de confort establecida para la región en este caso la banda se encuentra entre los 23,0 - 27,0 °C.

Este tipo de grafico permite evaluar el comportamiento térmico de la vivienda específicamente determinar el porcentaje de tiempo anual en el cual la misma y las zonas que la constituyen se encuentran dentro de la banda de confort, esto permite establecer cuáles son las zonas más favorables y las zonas más desfavorables en cuanto al confort térmico se refiere, esto es de gran utilidad ya que permite al diseñador ajustar parámetros constructivos en zonas criticas antes de ejecutar un proyecto y mejorar el comportamiento global de una edificación.

Al evaluar todas las zonas que constituyen la vivienda evaluada la zona llamada Habitación 2, se mantuvo durante 8092 hrs dentro de la banda de confort lo que representa 92,4% del tiempo, como se representa en la tabla siguiente 56,3% del tiempo a 24 °C y 36,1% a 26 °C, esa zona se establece como la más confortable de la vivienda con el mayor porcentaje de tiempo dentro de la banda de confort establecida.

Es importante destacar que las banda de confort son establecidas estadísticamente por un porcentaje de los habitantes de la región lo tanto la vivienda evaluada en otra región supondría otra banda de confort para esa región.

Habitación 2

Operación: días de semana 00-24, fin de semana 00-24.

Banda de confort: 23,0 – 27,0 °C

Dentro de la banda de confort: 8092hrs (92.4%)

Tabla 22 Distribución anual de temperatura Habitación 2

Temperatura (°C)	Horas (h)	Porcentaje (%)
20,0	5	0,1
22,0	437	5,0
24,0	4931	56,3
26,0	3161	36,1
28,0	226	2,6
Confort	8092	92,4

La tabla 22 muestra en un rango de temperaturas de 20,0 a 28,0 °C, el número de horas en la cual la zona (Habitación 2) se mantuvo a una temperatura dentro del rango además del porcentaje total y el número de horas en las cuales la zona está en confort, siendo esta la zona con el porcentaje más alto dentro de la vivienda.

A continuación en la tabla 23 se muestra la zona (Sala) la misma obtuvo el menor porcentaje dentro de la zona de confort 89,4% en un total de 7829 hrs se observa que en comparación con la zona Habitación 2 92,4% dentro de la banda de confort la diferencia no es abrupta 3% esto se debe principalmente a la temperatura ambiente ya que la misma durante el año no presenta grandes variaciones manteniendo una temperatura media de 24,1°C con un pico mínimo durante el año 15,0°C y un pico máximo de 33,0°C, adicionalmente los materiales constructivos son iguales para cada una de las zonas que constituyen la vivienda.

Sala

Operación: semanas 00-24, fin de semana 00-24.

Banda de confort: 23,0 – 27,0 °C

Dentro de la banda de confort: 7829hrs (89.4%)

Tabla 23 *Distribución anual de temperatura Sala*

Temperatura (°C)	Horas (h)	Porcentaje (%)
20,0	0	0,0
22,0	125	1,4
24,0	2808	32,1
26,0	5021	57,3
28,0	806	9,2
Confort	7829	89,4

Es importante destacar que el porcentaje de confort en los espacios interiores depende principalmente de la orientación de las fachadas con respecto a la trayectoria solar esto quiere decir que las fachadas que se encuentren orientadas en las direcciones oeste-este serán sometidas a la mayor cantidad de radiación solar durante el día por lo tanto presentaran comportamientos desfavorables en cuanto al confort se refiere.

Una manera de contrarrestar este efecto, depende de las posibilidades que presente el terreno y tomando en consideración la dirección del viento consiste principalmente en orientar los espacios menos habitables durante el día en la dirección oeste-este (baños, pasillos, estacionamientos, etc.) así como las aberturas en esas direcciones colocando los espacios mas habitables en las direcciones norte-sur. A continuación se muestran los efectos que producirían los cambios en la orientación de las fachadas para el caso de estudio vivienda modelo cujisal.

Rotamos de fachada oeste hacia fachada sur

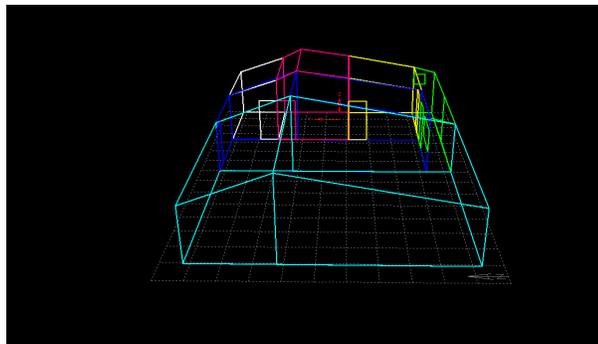


Figura 4-14 *Orientación sur de la fachada principal de la vivienda*

La zona más favorable es la habitación 2 y la más desfavorable habitación 1

Habitación 2

Operación: Semanas 00-24, Fin de semana 00-24.

Banda de confort: 23,0 – 27,0 °C

Dentro de la Banda de confort: 8089hrs (92,3%)

Habitación 1

Operación: Semanas 00-24, Fin de semana 00-24.

Banda de confort: 23,0 – 27,0 °C

Dentro de la Banda de confort: 7878hrs (89,9%)

Rotamos fachada oeste hacia fachada este

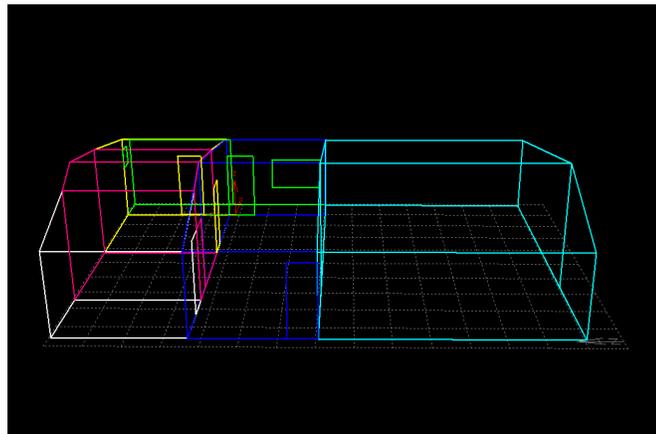


Figura 4-15 Orientación este para la fachada principal

La zona más favorable es la habitación 1 y la más desfavorable habitación 3

Habitación 1

Operación: Semanas 00-24, Fin de semana 00-24.

Banda de confort: 23,0 – 27,0 °C

Dentro de la Banda de confort: 8148hrs (93,0%)

Habitación 3

Operación: Semanas 00-24, Fin de semana 00-24.

Banda de confort: 23,0 – 27,0 °C

Dentro de la Banda de confort: 7942hrs (90,7%)

Rotación fachada oeste hacia fachada norte

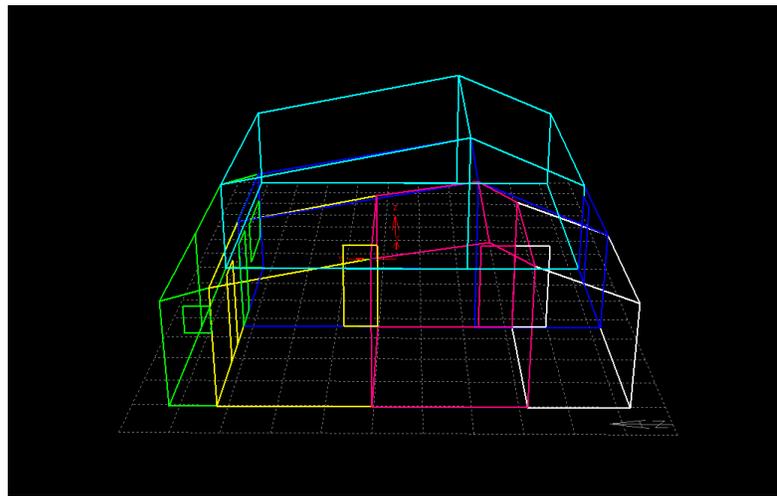


Figura 4-16 Orientación norte fachada principal

La zona más favorable es la habitación 1 y la más desfavorable habitación 3

Habitación 1

Operación: Semanas 00-24, Fin de semana 00-24.

Banda de confort: 23,0 – 27,0 °C

Dentro de la Banda de confort: 8162hrs (93,2%)

Habitación 3

Operación: Semanas 00-24, Fin de semana 00-24.

Banda de confort: 23,0 – 27,0 °C

Dentro de la Banda de confort: 7892hrs (90,1%)

4.3.5 Distribución de calor anual por conducción

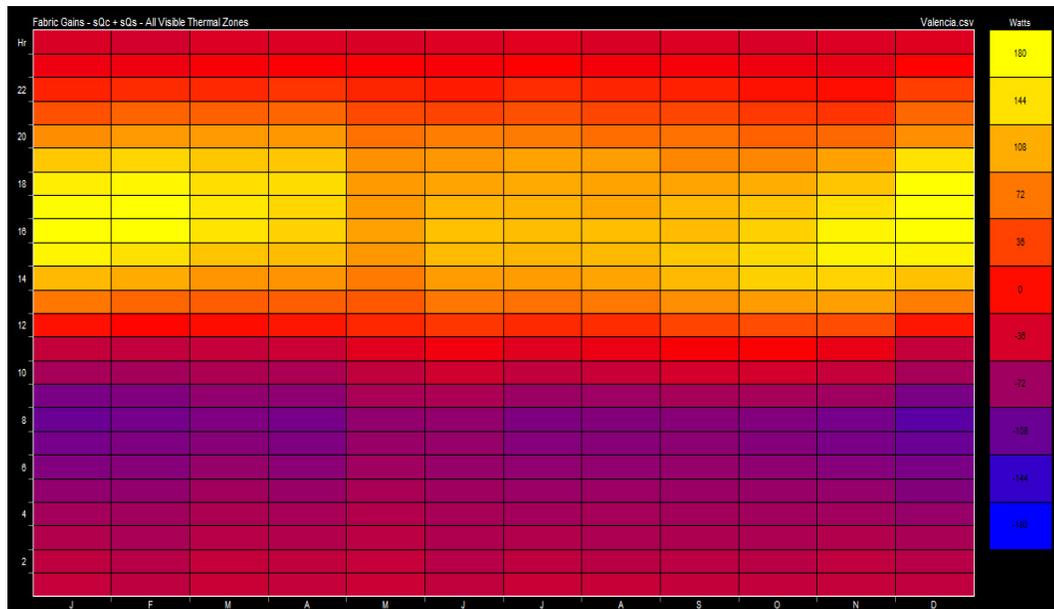


Figura 4-17 *Distribución anual de calor por conducción*

La figura 4-17 muestra promedios mensuales por horas en cuanto a las ganancias de calor por conducción en el interior de la vivienda, donde se puede apreciar como la transferencia de calor aumenta progresivamente a medida que se van aumentando las diferencias de temperatura Exterior vs. Interior este ocurre a partir de las 11:00 am aproximadamente hasta las 19:00 a partir del cual las diferencias de temperatura comienzan a descender progresivamente causando un descenso paulatino en la transferencia de calor por conducción dentro de la vivienda INAVI modelo Cujisal, ubicada en Mariara Edo. Carabobo.

Además se puede observar que las cargas de calor que recibe la vivienda mantienen una tenencia similar durante todos los meses del año esto quiere decir que no se observan variaciones abruptas en cuanto al calor se refiere durante el año, esto responde además al clima de la región y la inercia térmica de los materiales constructivos empleados.

4.3.3.4 Ganancia de calor solar anual

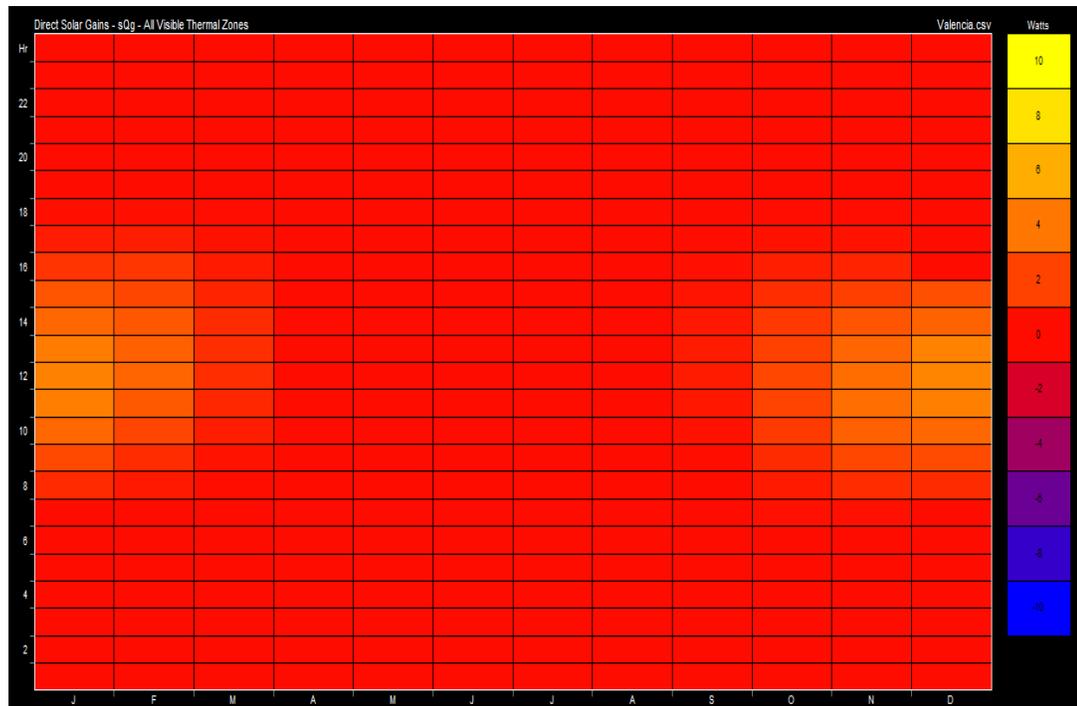


Figura 4-18 Ganancia de calor solar anual

En la figura 4-18 de ganancia de calor solar anual es mayor en los meses de noviembre hasta febrero en donde aumenta desde las 8:00 am que se encuentra en cero hasta 6 Watts a las 11:00 am manteniéndose en esta ganancia durante tres horas, hasta aproximadamente las 2:00 pm, donde va descendiendo las ganancias hasta ubicarse nuevamente en cero, esto indica que la radiación solar anual que penetra a través de las ventanas de la casa modelo Cujisal ubicada en Mariara Edo. Carabobo es baja durante casi todo el año aportando poca luz y calor a la edificación.

4.3.3.5 Ganancia de calor anual por ventilación

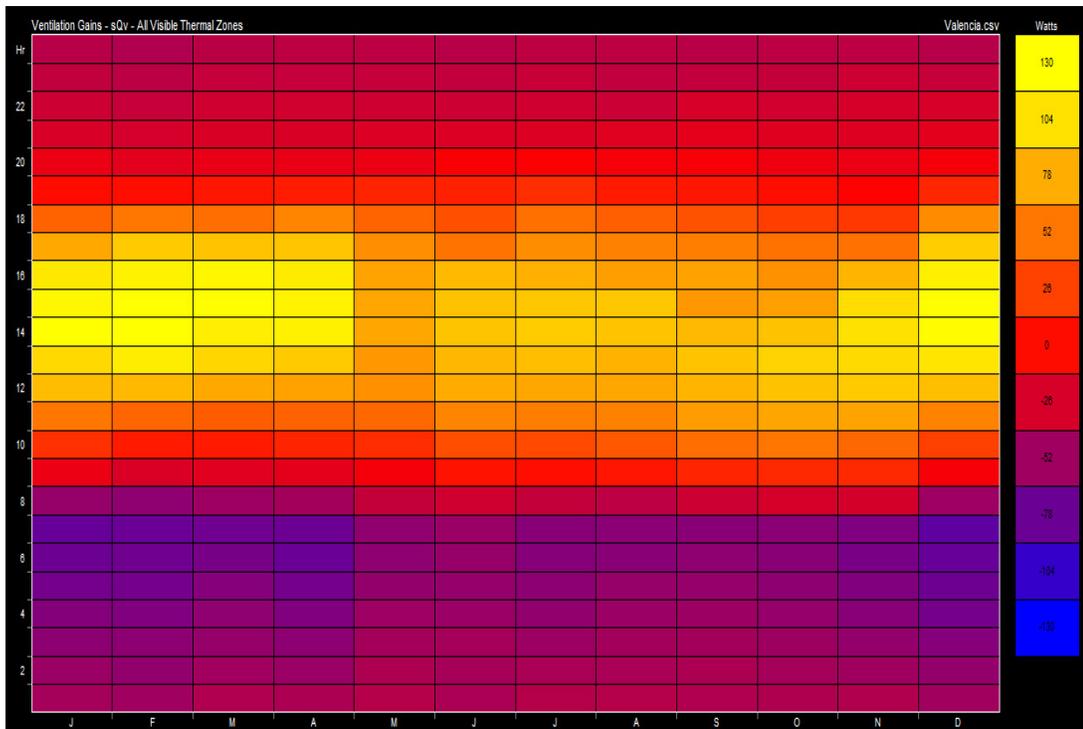


Figura 4-19 Ganancia de calor por ventilación

Las ganancias por ventilación están influenciadas por el aire del exterior que fluye a través de una edificación, el acondicionamiento de un espacio está relacionada a la energía asociada con el enfriamiento o el calentamiento de este aire exterior. La energía, la calidad del aire y el confort térmico se ve afectado de acuerdo al modo con el ocurre el intercambio de aire en una edificación, estos tres modos son: ventilación forzada, ventilación natural e infiltración. Flujo de aire a través de ventanas y puertas u otras aberturas de diseño pueden ser utilizados para proveer una ventilación adecuada para diluir contaminantes y controlar temperaturas. Aperturas no intencionales en la envoltura de la edificación y la infiltración asociada puede interferir con los patrones de distribución de aire de ventilación natural deseada y cargas mayores que la tasa de diseño de flujo de aire. La ventilación natural algunas veces incluye infiltración.

En este caso se tomara en cuenta solo la ventilación natural, esto se debe a que no existen equipos de acondicionamiento de aire presente en la estructura y la ventilación por infiltración es un flujo descontrolado a través de grietas producidas por diferentes razones.

En la figura 4-19 se observa la variación de las ganancias y pérdidas de las cargas térmicas por ventilación, se obtiene según el modelo planteado que las mayores perdidas de calor por ventilación ocurren desde las 5:00 am a las 8:00 am con un rango de -72 a -52 W para luego descender paulatinamente hasta las 10:00 am de la mañana encontrándose con una ganancia de calor a partir de las de esta hora alcanzando su máximo a las 12:00 m en donde se tiene una ganancia de calor por ventilación de 130 esto se mantiene hasta las cinco de la tarde donde desciende nuevamente el intercambio de calor por ventilación, este comportamiento se observa en los meses de diciembre a abril, mientras que de mayo a noviembre el intercambio de calor que ocurre entre de manera menos abrupta, observando que la ganancia por ventilación nunca llega a tocar valores de 130 W y en muy pocas ocasiones alcanza los 104 W, esto refleja que la diferencia de las temperaturas entre el interior y el exterior de la edificación son mayores entre los meses de diciembre y abril y menores entre mayo y noviembre.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se logra disminuir el pico máximo de calor para el día 19 de enero de 2000, que interactúa con la envolvente de la vivienda al modificar la composición de elementos constructivos como techo y paredes con una cámara de aire de espesor 75mm de 1400 W hasta 800 W.
- Al colocar la cámara de aire se logra adicionalmente aumentar el porcentaje de confort de la zona mas desfavorable (Sala) en cuanto a las horas durante el año que la temperatura interior del aire se encuentre dentro de la banda confort térmico, en 1%
- Para la orientación oeste en la fachada principal presente en la vivienda (Cujisal), la zona más desfavorable se encuentra en la sala con 89,4% de las horas al año dentro de la banda de confort, mientras que la más favorable es la habitación 2 alcanzando el 94,2% de las horas en un año.
- Al rotar la fachada principal del oeste hacia el sur (90°) se obtiene una mejoría en la sala aumentando a 91,5% las horas al año que esta zona se encuentra dentro de la banda de confort, mientras que la habitación 2 disminuye el porcentaje de horas a 92,3%.
- Las características más importantes para el confort de una vivienda en cuanto a la orientación, es poseer largos corredores en la dirección este- oeste y definir en ellos los espacios menos habitables, ya que estas fachadas reciben la mayor cantidad de radiación solar durante el día, en las fachadas norte-sur es donde se deben ubicar las aberturas a la vivienda, siempre que las condiciones del terreno lo permitan y que la orientación no interfiera con la dirección natural del viento.
- La selección de la orientación de una vivienda, define el porcentaje de confort en cuanto a temperatura del aire interior se refiere

inherente a los espacios que la constituyen, por ende aumentar o disminuir este porcentaje depende de los requerimientos y preferencias de los habitantes.

- Se determinó la evolución en el tiempo de las diferentes fuentes de calor para un periodo de un año, a las cuales esta sometida la envolvente de una vivienda, entre ellas las ganancias y pérdidas por ventilación y por conducción y las ganancias por radiación solar, dando como resultado una referencia del balance energético del flujo de calor para la vivienda INAVI modelo cujisal.
- La evaluación de las condiciones térmicas en régimen permanente un aproximado del comportamiento térmico en un diferencial de tiempo, por lo que solo ilustra de manera general las condiciones térmicas dentro de la vivienda estableciéndose, si en la peor de las condiciones climáticas entra o no en el rango establecido por la banda de confort térmico.

RECOMENDACIONES

En la recolección de data in situ:

- La ubicación de la vivienda en una zona que ofrezca mayor seguridad permitirá realizar las mediciones in situ, con los equipos y durante el tiempo necesario para la obtención de una data más amplia y confiable.
- La data obtenida debe ser mayor a un año, ya que eso permite ver el comportamiento térmico real de la edificación que se encuentre en estudio.

En relación al diseño de la vivienda:

- Desplazar los ambientes más habitables que reciben mayor cantidad de radiación solar diaria, mediante el uso de protectores solares o pantallas vegetales.
- El uso del diagrama Psicrométrico permite estudiar el confort térmico y ahorro energético durante la etapa del diseño de la vivienda.
- Se recomienda el estudio en régimen transitorio para un análisis profundo de las condiciones térmicas que existen en la edificación.
- En la fachada oeste se recomiendan protectores o pantallas vegetales para mejorar las condiciones de confort en las zonas menos favorables.
- Se propone el estudio de los efectos en cuanto al confort térmico se refiere, de diferentes composiciones de elementos constructivos, techos y paredes específicamente.
- La evaluación de diferentes materiales constructivos en este modelo de vivienda.

GLOSARIO

A

Absorción: es la transformación de la energía radiante a una forma diferente por interacción con la materia.

Absortividad: es una propiedad que determina la fracción de la irradiación absorbida por una superficie. La determinación de la propiedad es complicada por el hecho de que, se puede caracterizar por una dependencia direccional y espectral.

Aire húmedo es aquel que contiene una cantidad variable de cantidad de agua. Aun con igual cantidad de gramos de vapor de agua, el aire puede tener distintos grados de humedad, en porcentaje que varían en función de la temperatura.

Aire seco: aire atmosférico una vez eliminados tanto el vapor de agua como los contaminantes presentes.

Aislante térmico: material que presenta una resistencia térmica relativamente alta al paso del calor

Albedo: flujo radiactivo que se origina de la reflexión del suelo.

Almacenamiento de calor: proceso mediante el cual un material almacena calor aumentando su temperatura. Para una cantidad de calor suministrada, el grado de

calentamiento de un material depende de su calor específico y su densidad.

Ambiente: el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinado.

Amortiguamiento térmico: cociente entre la amplitud de la onda de temperatura que llega a un lado de un cerramiento y la amplitud de la onda de temperatura en el lado antepuesto. Por extensión, conciente entre l

Anemógrafos: es un instrumento que registra continuamente la dirección del viento así como su recorrido, y registra ambos valores en dependencia del tiempo. Del recorrido de viento y el tiempo, puede obtenerse sin dificultad la velocidad media de cada

intervalo de tiempo en observación.

Anemómetro de aspa consisten en aspas sujetas a un eje, las cuales giran al paso de las corrientes de aire: a mayor velocidad de aire mayor velocidad de giro.

Anemómetro de hilo caliente son pequeños sensores que consisten en un hilo metálico que al recibir las corrientes de aire se enfría en mayor o menor grado, dependiendo de la velocidad del mismo. La energía necesaria para mantener la temperatura de dicho hilo constante en conexión con la temperatura del aire da la medida de la velocidad.

Angulo de incidencia: ángulo que forma un rayo luminoso con la perpendicular a un plano.

Azimut: ángulo horizontal entre uno de los ejes cardinales (generalmente el sur) y la proyección horizontal de una recta dada (que pudiera ser la proyección horizontal de la normal a una superficie o la proyección horizontal de la recta que une a un observador con el disco solar).

B

Balance térmico: balance de las entradas y salidas de calor de un cerramiento o una edificación. El resultado es positivo si el cerramiento o la edificación se calienta y negativo si se enfría.

Bienestar térmico: rango de condiciones bioclimática consideradas aceptables en el interior de una edificación. Implica una ausencia de cualquier sensación de incomodidad o malestar térmico producido por exceso de frío o calor.

C

Calentamiento: transferencia de energía calórica hacia un cuerpo o hacia el aire, producto de un gradiente térmico entre la fuente de calor y el cuerpo o el aire. La transferencia se lleva a cabo mediante conducción y/o convección y/o radiación.

Calidad ambiental: capacidad relativa del medio ambiente para satisfacer las necesidades o los deseos de un individuo o sociedad.

Calor: forma de energía que aparece como movimiento molecular en las sustancias o como calor radiante, una banda de longitudes de onda de radiación electromagnética en el

espacio, se mide en unidades de energía julios (J)

Calor latente: cantidad de energía calorífica absorbida, por unidad de masa de una sustancia, durante un cambio de estado (de sólido a líquido, de líquido a gas) sin que haya cambio de temperatura. Para el caso específico del aire se refiere a la cantidad de energía debido al vapor de agua presente.

Calor específico: cantidad de calor que se requiere para aumentar en una unidad de temperatura una unidad de masa de un material.

Calor radiante: cantidad de calorías que lleva una radiación de una cierta longitud de onda y es transmitida de un material a un receptor.

Calor sensible: cantidad de energía calorífica que absorbe una sustancia, por ejemplo un fluido al elevar su temperatura sin cambiar su estado físico.

Caloría: unidad que se emplea para evaluar las cantidades de calor. Una caloría permite elevar un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua, a una presión atmosférica normal.

Cámara de aire: espacio de aire delimitado por dos planos, el cual puede estar ventilado o no.

Cambio de estado: cambio de una fase (sólido, líquido y gas) a otra.

Capacidad calorífica (Ca): cantidad de calor que se debe suministrar a un cerramiento o a la envolvente en su conjunto (de manera uniforme repartida) para aumentar su temperatura de 1°C. se mide en J/°C.

Carta bioclimática: instrumento gráfico que permite, al conocer las condiciones climáticas, proporcionar los principios básicos de diseño de edificaciones térmicamente confortables, o sea ubicados dentro de la forma de bienestar térmico.

Caudal másico (Qm): cantidad de aire renovado por ventilación y expresado en unidad de peso por unidad de tiempo (kg/s o kg/h).

Caudal volumétrico (Qv): cantidad de aire renovado por ventilación y expresado en unidad de volumen por unidad de tiempo (m^3/s o m^3/h).

Cerramiento: delimitación o cubrimiento perimetral, parcial o total de un área dada una edificación, originalmente abierta, para que deje de estarlo. División hecha con tabique en una estancia o pieza.

Climatización: proceso fisiológico mediante el cual un organismo se adapta a su ambiente.

Climatización pasiva: procedimiento de diseño o técnica suplementaria que da como resultado edificaciones en las que el consumo de electricidad o de carburantes o de cualquier otro tipo de energía no renovable a los efectos de climatizar los espacios sea nulo (o casi) y cuya finalidad es que las edificaciones cumplan con los requerimientos de confort térmico.

Climatización activa: procedimiento de diseño o técnica que utiliza equipamiento electro-mecánico para climatizar los espacios, tal como el caso del aire acondicionado.

Coefficiente de absorción: cociente entre el flujo radiante absorbido y el flujo que incide sobre él.

Coefficiente de transmitancia térmica: transmisión de calor en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de un material y capa de aire en contacto, inducido por la

unidad de diferencia de temperatura entre la superficie y su medio circundante.

Coefficiente superficial: relación de intercambio de calor en estado estacionario entre la superficie y su medio externo o la diferencia de temperatura entre la superficie y su medio circundante.

Conducción: transferencia de calor desde una molécula a otra a modo de impacto inelástico en el caso de los fluidos, a modo de oscilaciones en el caso de los sólidos no conductores de electricidad y a modo de movimiento de electrones en el caso de los sólidos conductores de electricidad (caso de los metales). Es el único mecanismo de transporte de calor en el interior de los sólidos opacos.

Conductancia térmica (C): cantidad de calor transmitida a través de la unidad de área de una muestra de material o de una estructura de espesor L , dividida por la diferencia de temperatura entre las caras caliente y fría, en

condiciones estacionarias. Cuando las caras caliente y fría no constituyan dos superficies planas paralelas es necesario aclarar en que condiciones se da la conductancia térmica. La conductancia térmica depende del espesor L del material, mientras que la conductividad se refiere a la unidad de espesor del material. Se expresa en $\text{kcal/hm}^2\text{°C}$ ($\text{W/m}^2\text{°C}$).

Conductividad térmica: cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de extensión infinita y caras plano-paralelas y de espesor unidad, cuando se establece una diferencia de temperatura entre sus caras de un grado. La conductividad térmica es una propiedad característica de cada material, su valor puede depender de la temperatura y de una serie de factores tales como la densidad, porosidad, contenido de humedad, diámetro de fibra, tamaño de los poros y tipo de gas que encierre el material. Se expresa en Unidades: $\text{kcal/hm}^2\text{°C}$ ($\text{W/m}^2\text{°C}$).

Confort térmico: se define generalmente como la situación en la cual los individuos expresan estar complacidos con las condiciones climáticas que los rodean. En vista de que ello involucra cierta subjetividad, los diseñadores se plantean como meta satisfacer al mayor número de

personas (generalmente más del 80%). El malestar puede resultar de ambientes fríos o calientes o pueden expresarse como molestia en alguna parte específica del cuerpo (incomfort local)

Convección: transferencia de calor entre un fluido en movimiento y una superficie en contacto con él. El movimiento del fluido puede generarse por diferencia de temperaturas (convección natural) o puede inducirse en forma mecánica (convección forzada)

Convección forzada: ocurre cuando el flujo es causado por medios externos, como un ventilador, una bomba o vientos atmosféricos.

Convección natural: el flujo es inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de diferencias de densidad ocasionadas por variaciones de temperatura en el fluido.

Cuerpo negro: es aquel que emite la mayor cantidad de

energía electromagnética a una temperatura dada.

Cuerpo opaco: la radiación solar incidente se disgrega tomando dos vías: una parte es reflejada por la superficie y la otra absorbida y convertida al interior del cuerpo en calor.

Cuerpo traslucido: además de reflejarse y absorberse, parte de la radiación traspasa directamente el cuerpo en cantidades que dependen de su grado global de transparencia.

D

Demanda eléctrica: requerimiento de electricidad de un usuario, área o sistema.

Desarrollo sustentable: el proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

Desfase térmico: diferencia horaria entre los valores pico de las ondas de temperatura en ambas caras de un cerramiento o entre las temperaturas interior y exterior de una

edificación. Junto con el amortiguamiento, traduce el efecto de la inercia térmica del cerramiento o la edificación:

Diagrama psicométrico: permite estimar las condiciones de confort y estudiar los parámetros que pueden introducirse según las condiciones del aire de un lugar. En él se contempla temperatura seca, temperatura húmeda, entalpía, el vapor de agua contenido en el aire, volumen del aire. Mediante un sistema de ejes pueden situarse las distintas calidades de aire, por ejemplo, frío y seco, húmedo y caluroso, y las muchas combinaciones con un alto grado de precisión, y así conocer las medidas oportunas para poder corregir estas condiciones. La gráfica se limita siempre por las zonas límites.

Diferencia de temperatura: diferencia entre las temperaturas del espacio exterior y el interior.

Difusión térmica: cociente entre la conductividad térmica y la capacidad calórica. Capacidad

calórica es el producto de la densidad por el calor específico.

Difusividad: parámetro que rige la propagación del calor interior de los materiales (conducción + almacenamiento). Relaciona la variación de la temperatura en el tiempo con la variación de la temperatura en el espacio en el interior de un material. La difusividad es directamente proporcional a la conductividad e inversamente proporcional al calor específico y a la densidad. Se mide en m^2/s .

Diseño pasivo: es un método utilizado en arquitectura con el fin de obtener edificios que logren su acondicionamiento ambiental mediante procedimientos naturales. Utilizando el sol, las brisas y vientos, las características propias de los materiales de construcción, la orientación, entre otras.

Distribución direccional de la radiación: si se refieren a todas las direcciones de propagación definidas por un ángulo sólido alrededor de la dirección definida.

Distribución espectral de la radiación: si se refieren a un intervalo espectral centrado en la longitud de onda λ . Hemisféricos, si se refieren a todas las direcciones a lo largo de las cuales un elemento superficial puede emitir o recibir radiación

Efecto invernadero: se origina porque la energía que llega del sol, al proceder de un cuerpo de muy elevada temperatura, esta formada por ondas de frecuencia altas que traspasan la atmosfera con gran facilidad. La energía remitida hacia el exterior, desde la tierra, al proceder de un cuerpo mucho mas frío, esta en forma de frecuencias más bajas, y es absorbida por los gases, resultando en una elevación de la temperatura del aire.

Eficiencia energética: obtener el mayor rendimiento con el menor consumo de energía.

Emisividad: fracción de radiación emitida por un cuerpo a una temperatura específica con referencia a la radiación que emitiría el cuerpo negro a la misma temperatura, cuya emisividad es igual a 1

Energía eléctrica: potencia eléctrica producida, transmitida o consumida en un periodo de tiempo. Se mide y se expresa en Kilovatio hora (Kwh), Megavatio hora (Mwh),

E

Gigavatio hora (Gwh) o Teravatio hora (Twh).

Enfriamiento: transferencia de energía desde un sólido, líquido o gas, generada por un gradiente de temperatura que va desde el sólido, líquido o gas hacia su entorno o hacia un sumidero de calor, el cual se encuentra a menor temperatura

Entorno radiante

Envolvente: conjunto de componentes que representan la frontera de una edificación y su entorno a través del cual se transfiere el calor, la luz, la humedad, el aire y los sonidos.

Evaporación: proceso a presión y temperatura constante mediante el cual una sustancia pasa de la fase líquida a la fase gaseosa.

Equilibrio térmico: Consideremos dos cuerpos en contacto térmico. Si entre dichos cuerpos no existe flujo de calor entonces se dice que ambos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico. El parámetro termodinámico que caracteriza el equilibrio térmico es la temperatura. Cuando dos cuerpos se encuentran en equilibrio térmico, entonces estos cuerpos tienen la misma temperatura.

F

Flujo de aire: desplazamiento de un volumen de aire entre dos puntos, dos superficies o dos ambientes.

Flujo de aire inter-zona: flujo de aire que se genera en diferentes ambientes de una edificación.

Flujo de calor: cantidad de calor que pasa por un determinado perímetro en una unidad de tiempo ($J/s=W$).

Flujo laminar: predominan las fuerzas viscosas y el movimiento es ordenado

Flujo turbulento: predominan las fuerzas de inercia, el flujo es agitado y fluctuante.

Frecuencia: es una medida que se utiliza generalmente para indicar el número de repeticiones de cualquier fenómeno o suceso periódico en la unidad de tiempo.

G

Gradiente de concentración: Zona donde hay una variación continua de concentración de una determinada sustancia entre dos extremos. Si avanzamos hacia el extremo "más concentrado"

decimos que vamos en contra del gradiente, y lo contrario es ir a favor

Gradiente de temperatura: La razón del cambio de la temperatura por unidad de distancia, muy comúnmente referido con respecto a la altura. Se tienen dos gradientes, el adiabático de 10.0 C/Km (en aire seco) y el pseudo adiabático (aire húmedo) es 6.5 C/Km.

Gradiente de velocidad: variación de la velocidad según la posición.

H

Humedad: medida del grado de vapor de agua contenido en el aire.

Humedad absoluta (HA) cantidad de agua realmente presente en la unidad de masa o del volumen del aire expresado (g de vapor de agua/kg de aire) o (g/m^3).

Humedad relativa (HR): relación entre la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la cantidad máxima que es capaz de contener a la misma temperatura y a la misma presión atmosférica.

I

Índices de confort: parámetros que valoran la conjunción de las variables que intervienen en los intercambios térmicos entre el cuerpo humano y el ambiente ante

las respuestas fisiológicas y sensoriales de las personas. Se determinan generalmente por medio de encuestas basadas en una escala de valores que las personas deben contestar mientras se someten a diversas combinaciones de dichas variables-

Inercia o masa térmica: expresa la capacidad de un cerramiento o de la envolvente de una edificación de almacenar calor y transmitirlo con retardo. Dependiendo de que tan grande sea la inercia térmica, se habla de componentes livianos, medianos o pesados.

Infrarrojo: gama de radiaciones invisibles con unas longitudes de onda que van de 0,7 a 2,5 micras para el infrarrojo próximo y de 2,5 micras a 1mm para el infrarrojo lejano.

Intercambios de longitud de onda corta: calentamiento de la envolvente por causa del sol, cuyo espectro radiativo comprende radiación infrarroja, visible y ultravioleta

Intercambios de longitud de onda larga:

intercambios entre la envolvente y los cuerpos de su entorno, los cuales emiten en el infrarrojo.

J

Joule (J): medida de trabajo o de energía (Fuerza x distancia) $1J = 1N.m.$ ($1J = 0,24cal$)

K

kW: kilovatios ($1kW = 1000$ vatios).

kWh: kilovatios hora (medida de energía).

Kilocalorías: cantidad de calor necesaria para elevar u kilogramo masa de agua a $1\text{ }^{\circ}C$ de temperatura.

L

Longitud de onda: es la distancia que recorre la onda en el intervalo de tiempo transcurrido entre dos máximos consecutivos de una de sus propiedades

Luz visible: angosta franja del espectro completo de la radiación, constituido por longitudes de onda entre 0,4 u y 0,7 u.

P

Perspiración: se realiza en todo momento y a través de los poros de la piel, siempre que la humedad del aire sea inferior al 100%.

También se pierde agua a través de las vías respiratorias.

Psicrómetro es un instrumento utilizado para medir la humedad del aire. Consiste en un termómetro de mercurio ordinario que registra la temperatura de bulbo seco y de otro cuyo bulbo se mantiene humedecido. Al evaporarse el agua de este último se produce un enfriamiento, por lo que el registro del termómetro de bulbo húmedo será menor que el de bulbo seco. Cuanto más seco esté el aire mayor será la diferencia entre las dos lecturas pues la evaporación será mayor y el enfriamiento más pronunciado.

Precipitación: término colectivo que se utiliza para la lluvia, nieve, rocío y escarcha, o sea para todo tipo de agua que se deposita en la atmósfera.

Presión de aire: fuerza por unidad de área que el aire ejerce sobre cualquier superficie en contacto con él. Se mide en N/m^2 o en Pascal.

Presión de vapor de agua: es la presión de a vapor en equilibrio con sus fases del no-vapor (es decir, líquido o sólido).

Presión parcial: es la presión que el gas tendría si solamente ocupó el volumen..

Puente térmico: elemento o parte de la pared que por su naturaleza o su aplicación se revela como punto débil de aislamiento y no ofrece el mismo coeficiente de resistencia térmica.

R

Radiación: transmisión de calor de una superficie a otra mediante la propagación de ondas electromagnéticas. Esta transferencia no necesariamente calienta el espacio que separa a las dos superficies. La radiación no requiere de un medio de transporte, pudiéndose efectuar en el vacío.

Radiación difusa: la radiación solar que se difunde en todas direcciones en la atmósfera.

Radiación directa: radiación solar que llega directamente del disco solar.

Radiación solar: principal fuente de calentamiento de las edificaciones en regiones de clima tropical. La radiación emitida por el sol es parcialmente absorbida por los cerramientos expuestos, calentándose y transmitiendo el calor absorbido al interior. La radiación solar puede así mismo penetrar

directamente por las aberturas. La cantidad de radiación solar que llega a la edificación depende sobre todo de la latitud, la época del año, la orientación, el ángulo de la superficie receptora y las condiciones de la atmósfera.

Radiación térmica: ondas caloríficas emanadas por los cuerpos, que se diferencian de las ondas luminosas por su mayor longitud y menor frecuencia.

Reflectividad: es una propiedad que determina la fracción de la radiación incidente reflejada por una superficie. Su definición específica es bidireccional, ya que depende de la dirección de la radiación reflejada y de la dirección de la radiación incidente.

Reflexión: fenómeno físico en el cual una onda electromagnética que incide sobre una superficie que separa dos medios es devuelta total o parcialmente hacia el medio donde provino.

Régimen estacionario o permanente: su temperatura no varía en el tiempo. Esto implica que no hay acumulación de calor, no posee fuentes de calor, es decir, no tiene generación interna de calor.

Régimen dinámico, variable o transitorio: cuando no existe equilibrio, sea porque el cerramiento no ha tenido tiempo de estabilizarse, este régimen está caracterizado porque la temperatura en cada punto varía en el tiempo, acumulando calor.

Resistencia térmica: de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

S

Sensación térmica: es la sensación aparente que las personas tienen en función de los parámetros que determinan el ambiente en el que se mueven,

T

Temperatura: propiedad de los cuerpos que determina la cantidad de calor que tienen y la dirección de los flujos de calor. Se mide

bien mediante una escala empírica basada en una propiedad conveniente de un material o instrumento, o mediante la escala absoluta.

Temperatura efectiva (TE): índice de confort que toma en cuenta únicamente los intercambios de calor radiactivo y latente.

Temperatura máxima media mensual: es un promedio aritmético de las temperaturas máximas diurnas registradas por un mes en un lapso de varios años

Temperatura mínima media mensual: es un promedio aritmético de las temperaturas mínimas diurnas registradas por un mes en un lapso de varios años-

Temperatura neutral: temperatura del aire deseada si el ambiente es uniforme o temperatura operativa si el ambiente no es uniforme.

Temperatura radiante media: temperatura que traduce el efecto promedio del calentamiento de la

radiación electromagnética de un entorno.

Temperatura de rocío: es la temperatura a la que empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire, produciendo rocío, neblina o, en caso de que la temperatura sea lo suficientemente baja, escarcha.

Termorregulación: es la capacidad del cuerpo para regular su temperatura.

Transferencia de masa: La transferencia de masa cambia la composición de soluciones y mezclas mediante métodos que no implican necesariamente reacciones químicas y se caracteriza por transferir una sustancia a través de otra u otras a escala molecular.

Transmisividad: es la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo por unidad de área.

V

Vasoconstricción: es la constricción o estrechamiento de un vaso sanguíneo manifestándose como una disminución de su volumen.

Vasodilatación: cuando la temperatura corporal aumenta, los vasos periféricos se dilatan y la sangre fluye en mayor cantidad cerca de la piel para enfriarse.

Velocidad del aire: velocidad del aire relativa a los objetos de su entorno.

W

Watt o vatio (W): medida de potencia. Trabajo o energía desplegada por unidad de tiempo. $1W = 1 J/s$

Z

Zona de confort o Banda de confort: rango de condiciones ambientales y (eventualmente) condiciones relativas al individuo definidas por determinados parámetros y con respecto al cual la mayoría de las personas manifiestan agrado o conveniencia en concordancia con la actividad que llevan a cabo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allard, F. y Belarbi, R. (1998) **Metodología de evaluación de las técnicas pasivas de enfriamiento**. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 43p.

De Witt, David. e Incropera, F. (1999). **Fundamentos de Transferencia de calor**, 4ª. Ed. Pearson Education. México.

Givoni, B. (1994). **Passive and Low energy Cooling of Buildings**. John Wiley & Sons, inc., Canadá.

Givoni, B. (1998). **Climate Considerations in Building and Urban Design**. John Wiley & Sons, inc., Canadá.

Ingersoll, T., Koenigsberger, O., Mayhew, A.y Szokolay, S. (1977). **Viviendas y edificaciones en zonas cálidas y tropicales**. Paninfo. España.

Mondelo, P., y Otros. (1995). **Ergonomía 2 Confort y Estrés térmico**. Mutua Universal. Barcelona.

Sabarinah, A. (2004). **A study on comfort conditions and energy performance of urban multistorey residential buildings in Malaysia**. Trabajo Especial de grado. The University Of Queensland, Australia.

Siem, G. y Sosa, M. (2004 a). **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**. Caracas.

Siem, G y Sosa, M. E. (2004 b). **Técnicas de reducción del gasto energético en edificaciones**. Caracas.

Sinhg, B.(1987). **Construcción en climas cálidos secos**. Limusa. Mexico.

Sosa, M.E. (1999). **Ventilación natural Efectiva y cuantificable, confort térmico en climas calidos húmedos**. Colección monografías No. 62, UCV, Caracas.

Szokolay, S. (2004). **Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design**. Architectural Press, Oxford.

Liébard, A. y De Herde, A.(2005) **Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques**. Observ'ER. París.

Lovera, A. (1998). **Confort térmico y calidad de vida**. Universidad Central de Venezuela, Caracas 7p.

Mendes, N., Oliveira, GHC.,Araújo. H., y Coelho, L (2003). **A matlab-based simulation tool for bulding**

Fuentes Electrónicas:

Rosales, L (2007). **Zonas climáticas para e diseño de edificaciones y diagramas bioclimaticos para Venezuela**. Disponible en: <http://www2.scielo.org.ve> [Consulta: 2009, Marzo 17].

Siem, G. (2007) **Simulacion del comportamiento termico de viviendas de bajo costo en Vnenezuela para mejorar el confort termico**. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/> [Consulta: 2008, junio 28].

Rosales, L (2008). **Diseño y clima**. Disponible en: <http://red.fau.ucv.ve:8080/clima> [Consulta: 2008, Octubre 11].

Mermet, A. y Yarke, E. (2005) **Ventilación natural de edificios**. Disponible en: <http://books.google.co.ve/books> [Consulta: 2008, Octubre 30].

Almorox, J (2007). **Climatología aplicada a la ingeniería y medioambiente**. Disponible en: <http://ocw.upm.es> [Consulta: 2008, Noviembre 06].

Rosales, L. (2007). **Zonas Climáticas para el diseño de edificaciones y diagramas bioclimáticos para Venezuela**. Disponible en: <http://www2.scielo.org.ve> [Consulta: 2010, Enero, 17]

Naciones Unidas (1998). **Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático**. Disponible en: <http://unfccc.int/resourse/docs/convkp/kpspan.pdf> [Consulta: 2010, Marzo 23].

Dumpierrez, A.(2001). **Índice de pobreza. ¿Por qué las discrepancias?** Disponible en: <http://www.veneconomy.com> [Consulta: 2009, Agosto 11].

Fuentes de Tipo Legal:

Mikaty, M., Padrón, M y Figuera, L. (2005). **Instructivo para la presentación de Tesis de Pregrado, Postgrado, Doctorado y Trabajos de Ascenso**. Comisión de bibliotecas. Caracas.

Fuentes Corporativas:

CONICIT, Siem, G., y Sosa, M.E. y otros (2003). **Técnicas de reducción del Gasto Energético en Edificaciones**. Caracas.

IDEC/IU/UCV Siem, G. y Sosa M.E (2002). **Código Nacional de Habitabilidad para la vivienda y su entorno**. Colección Premio Nacional de Investigación de viviendas. Caracas.

Publicaciones Periódicas:

Allard, F y Hobaica, M. E (1993). **Concepto de confort térmico y predicción del comportamiento eólico de edificaciones**. Tecnología y Construcción. Vol. (9): 27-40.

ANEXOS

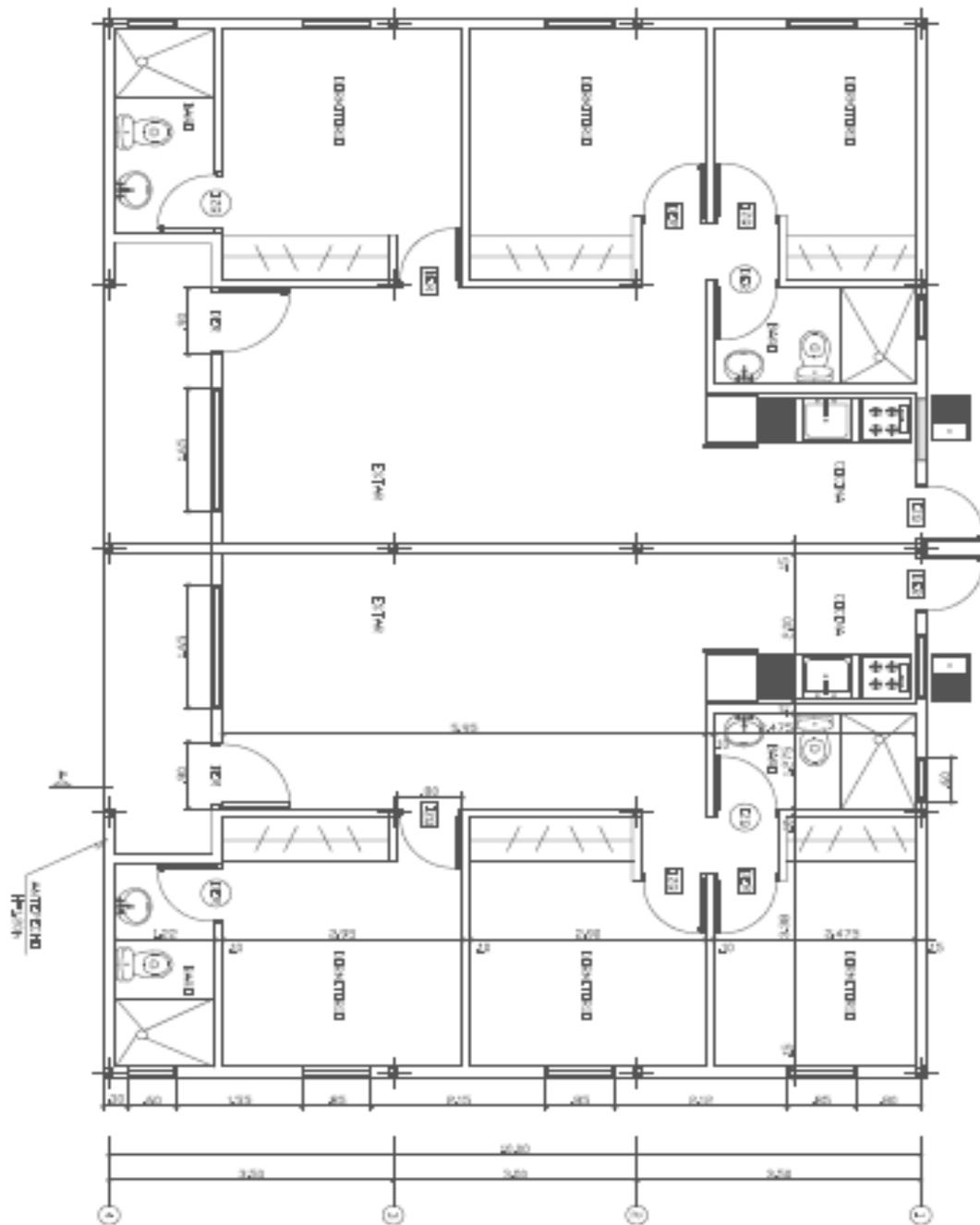


Figura 1 Distribución de planta de la Vivienda INAVI modelo Cujisal

Tabla 1. *Estimación del metabolismo según la intensidad del trabajo (Mondelo 1995).*

<i>Intensidad</i>	<i>Metabolismo (W/m²)</i>
Descanso	M < 65
Ligero	65 < M < 130
Moderado	130 < M < 200
Pesado	200 < M < 260
Muy pesado	260 < M

Tabla 2. *Estimación del metabolismo según posturas y los movimientos (Mondelo 1995)*

La carga térmica metabólica se calcula como la suma de tres términos, A, B y C cuyos valores se indican a continuación:

A.- Posición y movimiento del cuerpo		Kcal/min
Sentado		0,3
De pie		0,6
Andando en terreno llano		2,0 - 3,0
Andando en pendiente		añadir 0,8 por m de desnivel
B.- Tipos de trabajo		Valores medios Kcal/min Valores límites Kcal/min
Manual ligero	0,4	0,2 - 1,2
Manual pesado	0,9	
Con un brazo: ligero	1,0	0,7 - 2,5
Con un brazo: pesado	1,8	
Con ambos brazos: ligero	1,5	1,0 - 3,5
Con ambos brazos: pesado	2,5	
Con el cuerpo: ligero	3,5	
Con el cuerpo: moderado	5,0	
Con el cuerpo: pesado	7,0	2,5 - 15
Con el cuerpo: muy pesado	9,0	
C.- Metabolismo basal		
Corresponde al calor liberado por el organismo en estado de reposo físico y mental: a efectos prácticos se adopta siempre el valor de 1 Kcal/min.		

PROPIEDADES TERMOFISICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Tabla 3 PROPIEDADES TERMOFISICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES
CONSTRUCTIVOS

Denominación	Conductivida d W/m°C	Densidad Kg/m ³	Calor especifico J/Kg°C	Cap. Calorifica KJ/m ³ °C	Difusividad 10 ⁻⁶ m ² /s
PANELES COMUNES					
Panel de fibrocemento	0,12	1161	1512	1058	0,11
Panel de asbesto cemento	0,36	700	1050	735	0,49
Panel de cartón yeso	0,16	950	840	798	0,20
Panel de cartón yeso con perlita	0,18	800	817	654	0,28
Panel de fibra de vidrio	0,035	25	1000	25	1,40
Panel de corcho	0,042	120	1500	180	0,23
VIDRIOS					
Vidrio en general	0,77	2500	670	1675	0,46
Vidrio de espejo	0,78	2950	738	2177	0,36
MATERIALES AISLANTES					
Fibra vegetal	0,1	500	1000	500	0,20
Fibra de vidrio	0,04	200	670	134	0,30
Fibra de coco	0,05	100	612	61	0,82
Corcho granulado	0,06	100	1500	150	0,40
Fibra mineral	0,06	300	640	183	0,33
Perlita expandida	0,06	170	610	104	0,58
Perlita, vermiculita sueltas	0,07	100	610	61	1,15
Poliestireno expandido (baja densidad)	0,042	15	1400	21	2,00
Poliestireno expandido (densidad mediana)	0,038	24	1400	34	1,13
Poliestireno expandido (alta densidad)	0,036	40	1400	56	0,64
Poliestireno extruído	0,036	30	1400	42	0,86
Poliuretano	0,03	50	1400	70	0,43
Algodón	0,06	50	1750	88	0,69
Tejido de lana	0,05	240	1340	322	0,16
MATERIALES BITUMINOSOS					
Asfalto	0,50	1700	1000	1700	0,29
Fieltro bituminoso	0,50	1700	1000	1700	0,29
Paños de asfalto y asbesto	0,55	1900	837	1590	0,35
Impermeabilizante de mastique	1,15	2325	837	1946	0,59

Denominación	Conductividad d W/m°C	Densidad Kg/m ³	Calor especifico J/Kg°C	Cap. Calorifica KJ/m ³ °C	Difusividad 10 ⁻⁶ m ² /s
P.V.C.	0,16	1379	1004	1385	0,12
Silicón	0,18	700	1004	703	0,26
Goma	0,163	1200	1380	1656	0,10
Goma porosa	0,10	400	1360	544	0,18
Acrílico	0,14	1400	1000	1400	0,10
Caucho	0,13	950	2090	1986	0,07
REVESTIMIENTO HOMOGÉNEOS					
Teja de arcilla	0,84	1900	800	1520	0,55
Baldosas de gres	1,40	2400	1100,00	2640	0,53
Baldosas de pizarra	2,00	2700	753	2033	0,98
Baldosas de plástico	0,50	1950	837	1632	0,31
Baldosas de goma sintética	0,30	1600	2000	3200	0,09
Alfombra sintética	0,06	160	2500	400	0,15
METALES					
Acero	60	7860	460	3616	16,59
Aluminio	206	2700	970	2619	78,66
Bronce	26	8660	340	2944	8,83
Cobre	396	8930	380	3393	116,70
Hierro	79	7800	450	3510	22,51
Latón	111	8520	390	3323	33,41
Plomo	34,9	11340	130	1474	23,67
Zinc	110	7130	388	2766	39,76
MADERAS					
Maderas livianas (pino, cedro, etc.)	0,14	420	2720	1142	0,12
Maderas pesadas (roble, encina, etc.)	0,20	800	2400	1920	0,10
Contrachapado ligero	0,15	560	2500	1400	0,11
Contrachapado pesado	0,15	700	1420	994	0,15
Aglomerado	0,15	800	2100	1680	0,09
CONCRETO					
Concreto armado	1,80	2400	1080	2592	0,69
Concreto celular	0,16	500	840	420	0,38
Concreto con arcilla expansiva	0,50	1250	1000	1250	0,40
Concreto refractario	0,25	1050	837	879	0,28

Denominación	Conductividad d W/m°C	Densidad Kg/m ³	Calor específico J/Kg°C	Cap. Calorífica KJ/m ³ °C	Difusividad 10 ⁻⁶ m ² /s
Bloque hueco de concreto	0,50	1200	1000	1200	0,42
Bloque hueco de arcilla	0,47	1000	930	930	0,51
Bloque de agregado liviano (Alivén)	0,19	600	1000	600	0,32
Ladrillo macizo	0,84	1700	800	1360	0,62
Ladrillo Holandés	1,80	1800	940	1692	1,06
Bloque de concreto celular	0,24	760	1000	760	0,32
Ladrillo refractario	0,84	1800	880	1584	0,53
PASTAS Y MORTEROS					
Mortero de cemento	0,87	1600	1000	1600	0,54
Enlucido de yeso	0,30	800	780	624	0,48
Enlucido de cemento y cal o yeso	0,87	1800	1000	1800	0,48
Mortero sintético	1,00	1900	1000	1900	0,53
Mastique de pared	0,50	1300	1000	1300	0,38
Pasta de arcilla y materia vegetal	1,18	1800	1250	2250	0,52
SUELOS Y ROCAS					
Arena seca	0,70	1800	790	1422	0,49
Grava	0,36	1840	840	1546	0,23
Arcilla	1,41	1900	1000	1900	0,74
Granito	2,90	2650	900	2385	1,22
Mármol	2,80	2600	800	2080	1,35
Roca porosa en general	2,30	2200	710	1562	1,47
Piedra caliza	3,50	2700	840	2268	1,54

Fuente: Siem, G. y Sosa M.E. (2004) **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**

PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Tabla 4 PROPIEDADES SUPERFICIALES DE ACABADOS, MATERIALES Y COMPONENTES OPACOS

Denominación	Absortividad	Reflectividad	Transmisividad
CERRAMIENTOS OPACOS			
Vidrio negro	1,00	0,00	0,00
Concreto negro	0,91	0,09	0,00
Ladrillo azul Stafford	0,89	0,11	0,00
Fieltro bituminoso	0,88	0,12	0,00
Pizarra azul grisácea	0,87	0,13	0,00
Cubierta verde	0,86	0,14	0,00
Concreto marrón	0,85	0,15	0,00
Pavimento de asfalto	0,82	0,18	0,00
Madera lisa	0,78	0,22	0,00
Concreto	0,65	0,35	0,00
Mármol blanco	0,58	0,42	0,00
Azulejos blancos	0,58	0,42	0,00
Ladrillo de brillo claro	0,55	0,45	0,00
Tejado blanco	0,50	0,50	0,00
Fieltro bituminoso aluminizado	0,40	0,60	0,00
Acero galvanizado blanco	0,26	0,74	0,00
Ladrillo blanco vidriado	0,25	0,75	0,00
Hoja de aluminio pulido reflector	0,12	0,88	0,00
Película aluminizada de Mylar	0,12	0,88	0,00
Superficie de latón	0,05	0,95	0,00
PINTURAS			
Pintura negra	0,95	0,05	0,00
Laca negra	0,92	0,08	0,00
Pintura gris oscuro	0,91	0,09	0,00
Laca azul oscuro	0,91	0,09	0,00
Pintura de aceite negra	0,90	0,10	0,00
Laca azul o verde oscuro	0,88	0,12	0,00
Pintura marrón oscuro	0,88	0,12	0,00
Pintura azul grisácea oscuro	0,88	0,12	0,00
Pintura marrón media	0,84	0,16	0,00
Pintura marrón media claro	0,80	0,20	0,00
Laca marrón o verde	0,79	0,21	0,00
Pintura de óxido media	0,78	0,22	0,00

Denominación	Absortividad	Reflectividad	Transmisividad
Pintura de aceite gris claro	0,75	0,25	0,00
Pintura de aceite roja	0,74	0,26	0,00
Pintura verde media opaca	0,59	0,41	0,00
Pintura anaranjado media	0,58	0,42	0,00
Pintura amarillo media	0,57	0,43	0,00
Pintura azul media	0,55	0,45	0,00
Pintura verde Kelly media	0,51	0,49	0,00
Pintura verde claro	0,47	0,53	0,00
Pintura de aluminio	0,40	0,60	0,00
Pintura blanca semi brillante	0,30	0,70	0,00
Pintura blanca brillante	0,25	0,75	0,00
Pintura plateada	0,25	0,75	0,00
Laca blanca	0,21	0,79	0,00

Fuente: Siem, G. y Sosa M.E. (2004) **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**

PROPIEDADES TERMOFISICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Tabla 5 PROPIEDADES TÉRMICA DE VIDRIOS

Denominación	Absortividad	Reflectividad	Transmisividad
VIDRIOS			
Vidrio plano (flotado) de 4mm	0,11	0,07	0,82
Vidrio plano (flotado) de 6mm	0,15	0,07	0,78
Vidrio plano (flotado) de 10mm	0,23	0,07	0,70
Vidrio plano (flotado) de 12mm	0,27	0,06	0,67
Vidrio plano (flotado) ahumado gris de 4mm	0,40	0,05	0,55
Vidrio plano (flotado) ahumado gris de 6mm	0,53	0,05	0,42
Vidrio plano (flotado) ahumado gris de 10mm	0,71	0,04	0,25
Vidrio plano (flotado) ahumado gris de 12mm	0,77	0,04	0,19
Vidrio plano (flotado) ahumado bronce de 4mm	0,36	0,06	0,58
Vidrio plano (flotado) ahumado bronce de 6mm	0,49	0,05	0,46
Vidrio plano (flotado) ahumado bronce de 10mm	0,67	0,04	0,29
Vidrio plano (flotado) ahumado bronce de 12mm	0,73	0,04	0,23
Vidrio plano (flotado) ahumado azul o verde de 6mm	0,49	0,05	0,46
Vidrio Reflectivo plano (flotado) plata de 6mm ("Suncool classic" 10/23)	0,60	0,32	0,08
Vidrio Reflectivo plano (flotado) plata de 10mm ("Suncool classic" 10/23)	0,62	0,30	0,08
Vidrio Reflectivo plano (flotado) bronce de 6mm ("Suncool classic" 10/24)	0,73	0,21	0,06
Vidrio Reflectivo plano (flotado) bronce de 10mm ("Suncool classic" 10/24)	0,76	0,19	0,05
Vidrio Reflectivo plano (flotado) azul de 6mm ("Suncool classic" 10/33)	0,64	0,21	0,15
Vidrio Reflectivo plano (flotado) azul de 10mm ("Suncool classic" 10/33)	0,66	0,19	0,15
Vidrio Reflectivo claro tipo Stopsol de 4mm	0,22	0,25	0,53
Vidrio Reflectivo claro tipo Stopsol de 6mm	0,25	0,25	0,50

Denominación	Absortividad	Reflectividad	Transmisividad	
Vidrio Reflectivo claro tipo Stopsol de 8mm		0,28	0,25	0,47
Vidrio Reflectivo claro tipo Stopsol de 10mm		0,31	0,24	0,45
Vidrio reflectivo plata tipo Stopsol de 6mm		0,37	0,20	0,43
Vidrio reflectivo bronce tipo Stopsol de 4mm		0,38	0,27	0,35
Vidrio reflectivo bronce tipo Stopsol de 6mm		0,45	0,26	0,29
Vidrio reflectivo bronce tipo Stopsol de 8mm		0,51	0,26	0,23
Vidrio reflectivo bronce tipo Stopsol de 10mm		0,56	0,26	0,19
Vidrio laminado corriente (PVB) claro de 6,38mm		0,17	0,07	0,76
Vidrio laminado corriente (PVB) claro de 8,38mm		0,20	0,07	0,73
Vidrio laminado corriente (PVB) gris de 6,38mm		0,44	0,05	0,51
Vidrio laminado corriente (PVB) gris de 8,38mm		0,47	0,05	0,48
Vidrio laminado corriente (PVB) bronce de 6,38mm		0,43	0,05	0,52
Vidrio laminado corriente (PVB) bronce de 8,38mm		0,45	0,05	0,50
Vidrio laminado corriente (PVB) verde de 6,38mm		0,30	0,06	0,64
Vidrio laminado corriente (PVB) verde de 8,38mm		0,33	0,06	0,61

Fuente: Siem, G. y Sosa M.E. (2004) **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**

PROPIEDADES TERMOFISICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Tabla 6 EMISIVIDAD DE DIVERSOS MATERIALES

Denominación	Emisividad	Denominación	Emisividad
Acero inoxidable pulido	0,27	Laca negra brillante sobre hierro	0,82
Acero niquelado pulido	0,05	Laca negra mate	0,90
Acero oxidado	0,70	Ladrillo	0,92
Alquitrán	0,80	Ladrillo refractario	0,59
Aluminio bruto	0,05	Latón mate	0,21
Aluminio pulido	0,07	Latón pulido	0,05
Arcilla	0,90	Madera blanca	0,75
Arcilla cocida	0,60	Madera lisa	0,72
Arena	0,60	Mampostería en general	0,91
Barniz de aluminio sobre superficie áspera	0,40	Mármol blanco pulido	0,60
Asbesto cartón	0,96	Mármol gris pulido	0,93
asbesto papel	0,93	Mortero rugoso	0,88
Barniz blanco	0,90	Pared de ladrillos frisados	0,94
Cal áspera	0,35	Piedra calcárea	0,60
Calcio cal	0,78	Pintura de aceite mate	0,76
Concreto rugoso	0,92	Pintura de aluminio	0,50
Elucido de yeso liso	0,60	Pintura de cromo verde	0,70
Elucido de yeso rugoso	0,74	Pintura de óleo de distintos colores	0,95
Esmalte blanco en superficie de hierro	0,90	Pintura de vcoalto azul	0,75
Fundiciones de hierro	0,80	Pizarra	0,66
Granito	0,43	Porcelana	0,94
Hierro brillante corroído	0,16	Porcelana blanca brillante	0,75
Hierro cubierto óxido rojo	0,70	Vidrio	0,90
Hierro estirado en caliente	0,77	Vidrio mate	0,96
Hierro lámina cubierta con zinc brillante	0,23	Yeso	0,85
Laca negra brillante	0,89	Zinc mate	0,12

Fuente: Siem, G. y Sosa M.E. (2004) **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**

PROPIEDADES TERMOFISICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

*Tabla 7 DESFASE Y AMORTIGUAMIENTO DE MATERIALES
Y CERRAMIENTOS HOMOGÉNEOS*

Denominación	Espesor (cm)	Desfase (horas)	(mín)	(seg.)	Coefficiente de amortiguamiento
METALES					
Acero	0,50	0	2	42	0,99
Aluminio	0,50	0	1	47	1,00
Hierro	0,50	0	1	27	0,99
Latón	0,50	0	1	12	0,99
Zinc	0,50	0	1	6	1,00
MADERAS					
	1	0	39	25	0,84
Maderas livianas (pino, cedro, etc.)	2,5	1	39	33	0,65
	5	3	17	6	0,42
	1	0	43	45	0,83
Maderas pesadas (roble, encina, etc.)	2,5	1	47	54	0,63
	5	3	34	47	0,39
	1	0	42	10	0,83
Contrachapado ligero	2,5	1	45	24	0,63
	5	3	31	48	0,40
	1	0	36	31	0,86
Contrachapado pesado	2,5	1	29	49	0,68
	5	3	58	37	0,46
	1	0	46	11	0,82
Aglomerado	2,5	1	55	28	0,61
	5	3	51	55	0,37
CONCRETO					
	5	1	23	48	0,7
	10	2	46	36	0,49
Concreto armado	15	4	8	24	0,34
	20	5	31	12	0,24
	30	8	17	48	0,12
	5	1	52	48	0,62
	10	3	44	35	0,38
Concreto celular	15	5	35	23	0,23
	20	7	27	10	0,14
	30	11	11	45	0,05
Concreto con arcilla	5	1	49	6	0,62

expansiva

	10	3	38	12	0,39
	15	5	27	18	0,24
	20	7	16	24	0,15
	30	10	55	35	0,06
	5	2	9	22	0,57
	10	4	19	35	0,32
Concreto refractario	15	6	28	7	0,18
	20	8	37	29	0,11
	30	12	56	14	0,03

Fuente: Siem, G. y Sosa M.E. (2004) **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**

PROPIEDADES TERMOFISICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Tabla 8 *DEFASE Y AMORTIGUAMIENTO DE CERRAMIENTOS HOMOGÉNEOS*

Denominación	Espesor (cm)	Desfase			Coef. de amortiguamiento
		(horas)	(min)	(seg.)	
MAMPOSTERÍA					
Bloque hueco de concreto	6	2	8	16	0,57
	10	3	34	47	0,39
	15	5	21	41	0,25
	20	7	8	35	0,16
Bloque hueco de arcilla	6	1	56	28	0,60
	10	3	14	7	0,43
	15	4	51	11	0,28
	20	6	28	14	0,18
Bloque de agregado liviano (Alivén)	10	4	5	14	0,34
	15	6	8	51	0,20
	20	8	10	28	0,12
Ladrillo macizo	6	1	45	21	0,63
	10	2	56	36	0,47
	15	4	23	23	0,32
Bloque de concreto celular	20	5	51	11	0,22
	10	4	6	34	0,34
	15	6	8	22	0,20
Ladrillo refractario	20	8	11	9	0,12
	6	1	54	42	0,61
	10	3	10	30	0,44
	15	4	44	15	0,29
	20	6	19	0	0,19
PANELES COMUNES					
Panel de fibrocemento	2	1	22	58	0,70
Panel de asbesto cemento	2	0	39	26	0,84
Panel de cartón yeso	2	1	2	38	0,76
Panel de cartón yeso con perlita	2	0	53	36	0,80
Panel de fibra de vidrio	2	0	23	20	0,90
Panel de corcho	2	0	57	8	0,78
Panel de junco	2	0	44	4	0,83
Panel de concreto prefabricado	2	0	35	53	0,86
MATERIALES AISLANTES					
Poliestireno	5	0	49	47	0,81

Expandido (baja densidad)					
Poliestireno expandido (densidad mediana)	5	1	5	53	0,75
Poliestireno expandido (alta densidad)	5	1	26	3	0,69
Poliuretano	5	1	45	24	0,63
MATERIALES ASFÁLTICOS					
Filtro bituminoso	1	0	25	27	0,90
VIDRIOS					
Vidrio corriente	0,6	0	12	13	0,95

Fuente: Siem, G. y Sosa M.E. (2004) **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**

PROPIEDADES TERMOFISICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

*Tabla 9 AMORTIGUAMIENTO Y DESFASE DE CERRAMIENTOS HETEROGENEOS DE
TECHOS Y PAREDES*

Tipo de componente	Composición (Ext._Int.)	Espesor de cada capa (cm)	Desfase	Coef. De amortiguamiento	Clasificación (*) Inercia Térmica
Techo	Fibra de vidrio	4		0,046	fuerte
	Concreto	10	11 h 50'		
Techo	Concreto	10		0,45	media
	Fibra de vidrio	4	03 h 00 h		
Techo	Laminas de Zinc	0,5	16'	1,00	débil
Pared	Yeso			0,073	fuerte
	Concreto macizo	1,5			
	Cámara de aire	10			
	Concreto macizo	10	10 h		
Pared	Yeso	1,5		0,056	fuerte
	Concreto poroso	10			
	Cámara de aire	10			
	Concreto poroso	1,5	10 h 50'		
Pared	Yeso	1,5		0,1	fuerte
	Bloques huecos	10			
	Cámara de aire		8 h 45'		
	Bloques huecos	10			
Pared	Adobe	15		0,073	fuerte
	Cámara de aire		10 h		
Pared	Adobe	15		0,10	fuerte
	Friso	2,5			
	Bloque hueco terracota	10			
	Friso	2,5	08 h 45'		
Pared	Concreto	15	04 h 40"	0,30	fuerte

(*) Se establecieron los rangos de la siguiente manera: Baja (desfase entre 0h a 1h 30') Media (desfase entre 1h 35' a 3h 30') y fuerte (desfase mas de 3h 35')

Fuente: Siem, G. y Sosa M.E. (2004) **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**

PROPIEDADES TERMOFISICAS DE MATERIALES Y COMPONENTES CONSTRUCTIVOS

Tabla 10 TRANSMITANCIA Y RESISTENCIA TÉRMICA DE COMPONENTES DE PAREDES

	Transmitancia (W/m ² °C)	Resistencia (m ² °C/W)
PARED DE BLOQUES DE ARCILLA		
Pared de cloques de arcilla de 10cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	2,45	0,41
Pared de cloques de arcilla de 15cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	1,94	0,51
Pared de cloques de arcilla de 20cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	1,61	0,62
Pared de cloques de arcilla de 15cm Revestimiento exterior de lajas de ladrillos de arcilla Friso interior de yeso	1,85	0,54
Pared Doble de bloques de arcilla de 10cm Panel de poliuretano de 6cm embutidos Friso exterior de cemento y cal Friso Interior de yeso	1,25	0,80
Pared aislante doble de bloques de arcilla de 10cm Panel de poliuretano de 6cm embutidos Friso exterior de cemento y cal Friso Interior de yeso	0,26	3,78
PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO		
Pared de bloques de concreto de 10cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	2,53	0,40
Pared de bloques de concreto de 15cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	2,02	0,50
Pared de bloques de concreto de 20cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	1,68	0,60
Pared de bloques de concreto de 20cm Revestimiento exterior de piedra natural Friso interior de yeso	1,67	0,60
Pared de bloques de arcilla de 15cm Revestimiento exterior de lajas de ladrillos de arcilla Friso interior de yeso	1,92	0,52

	Transmitancia (W/m²°C)	Resistencia (m²°C/W)
Pared aislante doble de bloques de concreto de 10cm		
Panel de poliuretano de 6cm embutido	0,25	3,93
Friso exterior de cemento y cal		
Friso interior de yeso		
PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO DE AGREGADO LIVIANO (ALIVÉN)		
Pared de bloques de arcilla Alivén de 10cm		
Friso exterior de cemento y cal	1,39	0,72
Friso interior de yeso		
Pared de bloques de arcilla Alivén de 15cm		
Friso exterior de cemento y cal	1,02	0,98
Friso interior de yeso		
Pared de bloques de arcilla Alivén de 20cm		
Friso exterior de cemento y cal	0,80	1,25
Friso interior de yeso		
Pared de bloques de arcilla Alivén de 15cm		
Revestimiento exterior de lajas de ladrillo de arcilla	0,99	1,01
Friso interior de yeso		
Pared doble de bloques Alivén de 10 cm		
Cámara de aire de 10cm	0,70	1,43
Friso interior de cemento y cal		
Friso interior de yeso		
Pared aislante doble de bloques Alivén de 10cm		
Panel de poliuretano de 10cm embutido	0,22	4,58
Friso exterior de cemento y cal		
Friso interior de yeso		
PARED DE LADRILLOS MACIZOS DE ARCILLA		
Pared de ladrillos macizos de arcilla de 6cm		
Friso exterior de cemento y cal	3,75	0,27
Friso interior de yeso		
Pared de ladrillos macizos de arcilla de 10cm		
Friso exterior de cemento y cal	3,18	0,31
Friso interior de yeso		
Pared de ladrillos macizos de arcilla de 12cm		
Friso exterior de cemento y cal	2,96	0,34
Friso interior de yeso		
Pared de ladrillos macizos de arcilla de 6cm		
Cámara de aire de 6cm	1,63	0,61
Friso exterior de cemento y cal		
Friso interior de yeso		

	Transmitancia (W/m²°C)	Resistencia (m²°C/W)
PAREDES DE PANELES DE CONCRETO PREFABRICADO		
Pared de paneles de concreto prefabricados de 3cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	4,62	0,22
Pared de paneles de concreto prefabricados de 5cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	4,33	0,23
Pared doble de paneles de concreto prefabricado de 3cm c/u Cámara de aire de 5cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	2,39	0,42
Pared doble de paneles de concreto prefabricado de 3cm c/u Cámara de aire de 5cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	2,24	0,45
Pared doble aislante de paneles de concreto prefabricado de 3cm c/u Cámara de aire de 5cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	0,27	3,67
PAREDES DE PANELES DE FIBROCEMENTO		
Pared de paneles de fibrocemento de 1,1cm	3,53	0,28
Pared doble de paneles de fibrocemento de 1,1cm c/u Cámara de aire de 5cm Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	1,15	0,87
Pared doble aislante de paneles de fibrocemento de 1,1cm c/u Panel de poliuretano de 5cm embutido Friso exterior de cemento y cal Friso interior de yeso	0,19	5,19
PAREDES DE MADERA		
Pared de madera pesada de 3cm	3,43	0,29
Pared de madera pesada de 5cm	2,26	0,44
Pared de madera liviana de 3cm	2,99	0,33
Pared de madera liviana de 5cm	1,82	0,55

	Transmitancia (W/m ² °C)	Resistencia (m ² °C/W)
Doble pared de madera liviana de 2cm cada capa Filtro de fibra mineral embutido de 2cm	1,23	0,81
Doble pared aislante de madera liviana de 2cm cada capa Panel de poliuretano de 5cm embutido	0,47	2,14
PARED DE VIDRIO		
Pared de vidrio laminado convencional (PVB) claro o coloreado de espesor de 8 a 10mm.	5,90	0,17
Pared de vidrio plano (flotado) claro de espesor de 10 a 15mm.	5,70	0,18
Pared de vidrio plano (flotado) claro de espesor de 12mm.	5,60	0,18
Pared de vidrio plano (flotado) coloreado de espesor 20mm	6,10	0,16
PAREDES DE CARTÓN YESO		
Pared de cartón yeso de 3cm	2,64	0,38
Pared de cartón yeso de 5cm	1,98	0,50
Pared de cartón yeso de 10cm	1,22	0,82
Doble pared de cartón yeso de paneles de 3cm c/u con cámara de aire de 5cm	1,34	0,75
Doble pared de cartón yeso de paneles del 3cm c/u con panel de poliuretano embutido de 5cm	0,56	1,79
TECHOS A BASE DE CONCRETO VACIADO		
Losa maciza de concreto de 10cm obra limpia	4,53	0,22
Losa maciza de concreto de 15cm obra limpia	4,03	0,25
Losa maciza de concreto de 20cm obra limpia	3,62	0,28
Losa maciza de concreto de 25cm obra limpia	3,29	0,30
Losa maciza de concreto de 20cm Machihembrado de madera de 0,8cm	3,07	0,33
Losa maciza de concreto de 20cm Impermeabilizante asfáltico Machihembrado de madera de 0,8cm	3,05	0,33
Losa maciza de concreto de 20cm Teja criolla Friso interior	3,25	0,31
Losa maciza de concreto de 20cm Con revestimiento de pliego asfáltico o teja asfáltica Friso interior	3,33	0,30
Losa maciza de concreto de 20cm Teja criolla Pliego de fibra mineral de 2cm	1,61	0,62
Losa maciza de concreto de 20cm Teja criolla Panel de poliuretano de 2cm	1,06	0,95

	Transmitancia (W/m²°C)	Resistencia (m²°C/W)
Losa maciza de concreto de 20cm Teja criolla Cámara de aire de 10cm y cielo raso de poliuretano de 2cm	0,68	1,46
Losa nervada o reticular de concreto de 20cm Teja criolla Tablones de arcilla de 6cm Friso interior	2,32	0,43
Losa nervada o reticular de concreto de 25cm Teja criolla Bloques de arcilla de 15cm Friso interior	1,59	0,63
Losa nervada o reticular de concreto de 25cm Teja criolla Tablones de arcilla de 6cm Panel aislante de poliuretano de 5cm	0,48	2,08
Losa nervada o reticular de concreto de 25cm Teja criolla Bloque de concreto de agregado liviano de 15cm Friso interior	0,92	1,09
Losa nervada o reticular de concreto de 25cm Teja criolla Bloque de concreto de agregado liviano de 15cm Panel aislante de poliuretano de 5cm	0,37	2,73
Losa nervada o reticular de concreto de 25cm Teja criolla Bloque de concreto de agregado liviano de 15cm Cielo raso de poliuretano de 5cm y cámara de aire de 10cm	0,34	2,91
Losa nervada o reticular de concreto de 25cm Teja criolla Bloque de concreto de agregado liviano de 15cm Machihembrado de madera de 1cm	0,76	1,32
TECHOS A BASE DE PANELES DIVERSOS Y TABELONES		
Techo de paneles de concreto prefabricado de 3cm Teja criolla Impermeabilizante asfáltico Friso interior	4,28	0,23
Techo de paneles de concreto prefabricado de 3cm Lámina asfáltica Impermeabilizante asfáltico Friso interior	4,47	0,22

	Transmitancia (W/m²°C)	Resistencia (m²°C/W)
Techo de paneles de fibrocemento de 1,1cm Teja criolla Impermeabilizante asfáltica Friso interior de masticque	3,51	0,28
Techo de paneles de fibrocemento de 1,1cm Teja criolla Impermeabilizante asfáltica Paneles de poliuretano de 3cm	0,79	1,27
Techo de paneles de fibrocemento de 1,1cm Teja criolla Impermeabilizante asfáltica Cielo raso de paneles de poliuretano de 3cm con cámara de aire de 10cm	0,69	1,45
Techo de paneles de fibrocemento de 1,1cm Capa vaciada de mortero de 1,5cm Friso interior	3,40	0,29
Techo de paneles de fibrocemento de 1,1cm Capa vaciada de mortero de 1,5cm Teja criolla Friso interior	3,23	0,31
Techo de tabelones de 6cm Impermeabilizante asfáltico Cubierta metálica de aluminio	3,37	0,30
Techo de tabelones de 6cm Impermeabilizante asfáltico Cubierta de lámina asfáltica	3,35	0,30
Techo de tabelones de 6cm Impermeabilizante asfáltico Cubierta de lámina asfáltica Capa de aislante de poliuretano de 3cm	0,77	1,30
Techo de tabelones de 6cm Impermeabilizante asfáltico Cubierta de lámina asfáltica Capa de aislante de poliuretano de 3cm dejando cámara de aire de 10cm	0,68	1,48
TECHOS DE MADERA		
Techo de madera pesada de 3cm Filtro bituminoso Teja criolla	2,86	0,35
Techo de madera liviana de 3cm Filtro bituminoso Teja criolla	2,42	0,41

	Transmitancia (W/m²°C)	Resistencia (m²°C/W)
Techo de madera pesada de 3cm Filtro bituminoso Lámina asfáltica	2,99	0,34
Techo de madera liviana de 3cm Pliego asfáltico Capa de mortero de 2cm Paneles de poliuretano de 3cm	0,71	1,41
Techo de madera liviana de 3cm Pliego asfáltico Teja criolla Capa de mortero de 2cm Paneles de poliuretano de 3cm	0,70	1,42
Techo de madera liviana de 3cm Pliego asfáltico Teja criolla Capa de mortero de 2cm Paneles de poliuretano de 3cm dejando cámara de aire de 5cm	0,63	1,60
TECHOS LIVIANOS		
Techo de lámina de aluminio	6,06	0,17
Techo de lámina de zinc	6,06	0,17
Techo de lámina asfáltica	5,99	0,17
Techo de lámina de aluminio Panel de poliuretano de 3cm	0,86	1,17
Techo de lámina de aluminio Panel de poliuretano de 3cm dejando cámara de aire de 10cm	0,74	1,35

Fuente: Siem, G. y Sosa M.E. (2004) **Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico**