



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE, PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

“ESTUDIO DE MUROS TROMBE DEL TIPO SIMPLE DE CIRCULACIÓN
DELANTERA Y SU INFLUENCIA EN EL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE
CALEFACCIÓN SOLAR PASIVA APLICADO A UNA VIVIENDA
UNIFAMILIAR”

AUTOR: Daniel Álvarez Medina

TUTOR: Ing. Mg. Alex Mayorga

AMBATO – ECUADOR

2015

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación, con el tema “ESTUDIO DE MUROS TROMBE DEL TIPO SIMPLE DE CIRCULACIÓN DELANTERA Y SU INFLUENCIA EN EL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE CALEFACCIÓN SOLAR PASIVA APLICADO A UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR”, desarrollado por el estudiante Daniel Alfonso Álvarez Medina, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, me permito informar que este ha sido concluido en su totalidad, y por tanto puede continuar con el respectivo trámite de graduación.

Ambato, abril, 2015

.....

Ing. Mg. Alex Mayorga

DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA

AUTORIA DE TRABAJO

Declaro que los criterios expresados en la investigación denominada ““ESTUDIO DE MUROS TROMBE DEL TIPO SIMPLE DE CIRCULACIÓN DELANTERA Y SU INFLUENCIA EN EL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE CALEFACCIÓN SOLAR PASIVA APLICADO A UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR”, así como también las ideas, análisis, conclusiones y propuesta original es auténtica y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor de la presente investigación de grado.

Ambato, abril del 2015

EL AUTOR

.....
Egdo. Daniel Alfonso Álvarez Medina

CI: 180460227-2

DEDICATORIA

Al concluir mis estudios universitarios quiero dedicar el presente trabajo que fue realizado con todo mi esfuerzo y sacrificio a mi familia, la que es parte fundamental de mi desarrollo espiritual, moral y profesional, a mi padre Luis, mis hermanos Darío e Iván, mi tío Nicolai, mi abuelito Oswaldo y sobre todo a mi madre Mónica, por ser la fuerza espiritual que me apoyó siempre en los momentos de alegría y tristeza, por haber estado presente en todas las circunstancias buenas y malas de mi vida ya que con su amor incondicional me acompañó durante todo el trayecto de mi vida estudiantil y personal, más que solo teniéndole que decir un “GRACIAS MAMI, TODO ESTO FUE Y ES POR TÍ”.

Daniel Alfonso

AGRADECIMIENTO

De manera especial agradezco a la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, sobre todo a las autoridades, trabajadores y servidores de la FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA.

A todos los ingenieros quienes compartieron sus conocimientos, y me ayudaron a formarme como persona y profesional. En especial a los ingenieros que conforman el área de Energías, que a más de ser excelentes profesionales y profesores han demostrado ser amigos al momento de compartir un consejo, alegría y hasta alguna pequeña broma en el salón de clases, lo que me hizo llevar una etapa universitaria única y espléndida.

Al Ing. Mg. Alex Mayorga tutor de la presente tesis quien me ayudó compartiendo sus conocimientos, por su paciencia, su apoyo en todo el tiempo del desarrollo del presente trabajo de investigación, de igual manera al Ing. Mg Santiago Cabrera e Ing. Luis Escobar.

Y por último a todos mis amigos con los que compartimos experiencias, locuras, alegrías y en ocasiones hasta sustos, gracias amigos por formar parte de mis recuerdos de esta vida universitaria que se acabó.

“El chino” Álvarez

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN	II
AUTORIA DE TRABAJO	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	VI
RESUMEN EJECUTIVO	XVII
ABSTRACT.....	XVIII

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1	TEMA.....	1
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1	CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.2	ANÁLISIS CRÍTICO.....	5
1.2.3	PROGNOSIS.....	5
1.2.4	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.2.5	PREGUNTAS DIRECTRICES	6
1.2.6	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4	OBJETIVOS.....	8
1.4.1	GENERAL	8
1.4.2	ESPECÍFICOS	8

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	9
2.1.1	ANTECEDENTES.....	9
2.2	FUNDAMENTACION FILOSÓFICA	11
2.3	FUNDAMENTACIÓN LEGAL	11
2.4	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
2.4.1	CALIDAD DE VIDA	12
2.4.2	CONFORT TÉRMICO	13
2.4.3	TEMPERATURA AMBIENTAL.....	15
2.4.4	ENERGÍAS RENOVABLES.....	16
2.4.5	SISTEMAS BIOCLIMÁTICOS	19
2.4.6	MURO TROMBE	24
2.5	CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	34
2.6	HIPÓTESIS	35
2.7	SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES	35
2.7.1	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	35
2.7.2	VARIABLE DEPENDIENTE	35
2.7.3	CONECTOR	35

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	ENFOQUE	36
3.2	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	36

3.2.1	EXPERIMENTAL	36
3.2.2	BIBLIOGRÁFICA	36
3.3	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	37
3.3.1	EXPLORATORIO	37
3.3.2	DESCRIPTIVO	37
3.3.3	CORRELACIONAL	37
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	37
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	39
3.6	RECOLECCIÓN DE DATOS	41
3.7	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	42
3.7.1	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA	42

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	44
4.1.1	PRUEBA N°1	45
4.1.2	PRUEBA N°2	50
4.1.3	PRUEBA N°3	55
4.2	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	60
4.2.1	TEMPERATURAS PROMEDIO, MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA PRUEBA N° 1	60
4.2.2	TEMPERATURAS PROMEDIO, MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE LA PRUEBA N° 2	66
4.2.3	TEMPERATURAS PROMEDIO, MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE PRUEBA N° 3	72

4.2.4	INTERPRETACIÓN DE LAS VARIACIONES ENTRE LAS DOS HABITACIONES EN LAS DISTINTAS PRUEBAS REALIZADAS.	78
4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	81
4.3.1	VERIFICACIÓN MEDIANTE PROMEDIOS TOTALES.....	81
4.3.2	DEMOSTRACIÓN ESTADÍSTICA	81

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	85
5.2	RECOMENDACIONES	86

CAPÍTULO V

PROPUESTA

6.1	DATOS INFORMATIVOS.....	88
6.1.1	TÍTULO	88
6.1.2	BENEFICIARIO.....	88
6.1.3	TIEMPO ESTIMADO PARA LA EJECUCIÓN:	88
6.1.4	EQUIPO TÉCNICO:.....	88
6.1.5	UBICACIÓN.....	88
6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	89
6.3	JUSTIFICACIÓN.....	90
6.4	OBJETIVOS.....	91
6.4.1	GENERAL	91
6.4.2	ESPECÍFICOS	91
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	91

6.6	FUNDAMENTACIÓN	92
6.6.1	ESPESOR DE PARED	92
6.6.2	UBICACIÓN DE LA HABITACIÓN	93
6.6.3	DIMENSIONAMIENTO DE ANCHO Y LARGO, EN BASE A FACTOR DE FORMA	94
6.6.4	COLOR	95
6.6.5	DISEÑO DE VENTANA	96
6.6.6	RECURSO SOLAR	97
6.6.7	ANÁLISIS TERMODINÁMICO	99
6.6.8	GANANCIA Y ALMACENAMIENTO DE CALOR ¡Error! Marcador no definido.	
6.6.9	PÉRDIDA Y CEDENCIA DE CALOR ¡Error! Marcador no definido.	
6.6.10	CONFORT AMBIENTAL DE LA HABITACIÓN	112
6.7	METODOLOGÍA.....	114
6.8	ADMINISTRACIÓN	115
6.8.1	COSTOS DIRECTOS	115
6.9	PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN	115
	BIBLIOGRAFÍA	116
	LIBROS	116
	ANEXOS	119

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1: Muestra	38
Tabla 3.2: Variable independiente	39
Tabla 3. 3: Variable dependiente	40
Tabla N° 4.1: Cronograma de mediciones y configuraciones.....	44
Tabla N° 4.2: Valores de temperaturas correspondientes al día 25/10/2014 siendo la temperatura ambiental máxima registrada en el periodo de prueba N° 1.	45
Tabla N° 4.3: Valores de temperaturas correspondientes al día 24/10/2014 siendo la temperatura ambiental mínima registrada en el periodo de prueba N° 1.....	47
Tabla N° 4.4: Valores de temperaturas correspondientes al día 06/11/2014 siendo la temperatura ambiental máxima registrada en el periodo de prueba N° 2.	50
Tabla N° 4.5: Valores de temperaturas correspondientes al día 14/11/2014 siendo la temperatura ambiental mínima registrada en el periodo de prueba N° 2.....	52
Tabla N° 4.6: Valores de temperaturas correspondientes al día 21/11/2014 siendo la temperatura ambiental máxima registrada en el periodo de prueba N° 3	55
Tabla N° 4.7: Valores de temperaturas correspondientes al día 25/11/2014 siendo la temperatura ambiental mínima registrada en el periodo de prueba N° 3.....	57
Tabla N° 4.8: Días en lo que se registraron temperaturas ambientales máximas y mínimas en el medio ambiente de prueba N° 1.....	60
Tabla N° 4.9: Comparación de mediciones (máximas y mínimas) en habitación con muro Trombe y habitación normal a lo largo de prueba N° 1.....	60
Tabla N° 4.10: Valores de temperaturas promedio diarios correspondientes al periodo 20/10/2014-02/11/2014 de la prueba N°1	62
Tabla N° 4.11: Frecuencias de temperaturas ambientales correspondientes a la prueba N°1.....	63
Tabla N° 4.12: Frecuencias de temperaturas del muro Trombe correspondientes a la prueba N°1.....	64
Tabla N° 4.13: Histogramas de temperaturas de habitación normal correspondientes a la prueba N°1	65

Tabla N° 4.14: Días en lo que se registraron temperaturas ambientales máximas y mínimas junto a las temperaturas de habitación con muro Trombe de prueba N° 2.....	66
Tabla N° 4.15: Comparación de mediciones (promedio, máximas y mínimas) en habitación con muro Trombe y habitación normal a lo largo de prueba N° 2.	66
Tabla N° 4.16: Valores de temperaturas promedio diarios correspondientes a la prueba N° 2.....	68
Tabla N° 4.17: Frecuencias de temperaturas ambientales correspondientes a la prueba N°2.....	69
Tabla N° 4.18: Frecuencias de temperaturas del muro Trombe correspondientes a la prueba N°2.....	70
Tabla N° 4.19: Frecuencias de temperaturas de habitación normal de prueba N° 2	71
Tabla N° 4.20: Días en lo que se registraron temperaturas ambientales máximas y mínimas durante prueba N° 3.....	72
Tabla N°4. 21: Comparación de mediciones (promedio, máximas y mínimas) en habitación con muro Trombe y habitación normal durante prueba N° 3.	72
Tabla N° 4.22: Valores de temperaturas promedios diarios correspondientes a la prueba N°3.....	74
Tabla N° 4.23: Frecuencias de temperaturas ambientales de la prueba N°3.....	75
Tabla N° 4.24: Frecuencias de temperaturas del muro Trombe de la prueba N°3	76
Tabla N° 4.25: Frecuencias de temperaturas de habitación normal de la prueba N°3.....	77
Tabla N° 4.26: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.	78
Tabla N° 4.27: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.	79
Tabla N° 4.28: Niveles de confort térmico de acuerdo a NEC 2011	80
Tabla N° 4.29: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.	81
Tabla N° 4.30: Prueba T-Student para prueba N°1	82

Tabla N° 4.31: Prueba T-Student para prueba N°2	82
Tabla N° 4.32: Prueba T-Student para prueba N°3	83
Tabla N° 4.33: Prueba T-Student para día 06/11/2014 de prueba N°2	84
Tabla N° 4.34: Prueba T-Student para día 06/11/2014 de prueba N°2	84
Tabla 6.1: Rango de temperaturas, según datos del INHAMI.	89
Tabla 6.2: Rango de temperaturas, según datos del INHAMI.	93
Tabla 6. 3: Reflexión de radiación solar en función del color de la superficie....	95
Tabla 6.4: Tabla de resultados	106
Tabla 6.5: Tabla de áreas de paredes	106
Tabla 6. 6: Tabla de resultados de calores	107
Tabla 6.7: Tabla de resultados	111
Tabla 6. 8: Tabla de resultados de calores	112
Tabla 6. 9: Nivel de sensación en el interior de la habitación	112
Tabla 6. 10: Costos directos.....	115

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1.1: Orientación del edificio Pearl River Tower.	2
Figura 1.2: Construcción de muro Trombe en Chilacollo, Perú.....	3
Figura 1.3: Proyecto BIOcasa.....	4
Figura 2.1: Variables del Confort Térmico.....	15
Figura 2.2: Energía que ingresa a la tierra en promedio cada año.....	17
Figura 2.3: Insolación Difusa Promedio.....	18
Figura 2.4: Insolación Directa Promedio.....	18
Figura 2.5: Esquema bioclimático de habitación	19

Figura 2.6: Elementos de captación directos.	22
Figura 2.7: Elementos de captación indirectos.	23
Figura 2.8: Elementos Acumuladores.....	24
Figura 2. 9: Muro Trombe clásico.	25
Figura 2.10: Orientación del Sol. Solsticios.	27
Figura 2.11: Tipos de transferencia de calor en una habitación	30
Figura 2.12: Fenómeno de conducción a través de un sólido estacionario.....	31
Figura 2.13: Convección de una superficie a un fluido en movimiento.	32
Figura 2.14: Transferencia de calor por radiación de una superficie de emisividad ε , absorptividad α y temperatura T.....	34
Figura 2.15: Categorías fundamentales	34
Figura 4.1: Temperatura máxima ambiental correspondientes al día 24/10/2014 de prueba N° 1.....	46
Figura 4.2: Temperaturas del día 24/10/2014. Mínima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 1.	48
Figura 4. 3: Temperaturas de prueba N° 1.....	49
Figura 4.4: Temperaturas del día 06/11/2014. Máxima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 2.	51
Figura 4.5: Temperaturas del día 14/11/2014. Mínima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 2.	53
Figura 4. 6: Temperaturas de prueba N° 2.....	54
Figura 4.7: Temperaturas del día 21/11/2014. Máxima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 3.	56
Figura 4.8: Temperaturas del día 25/11/2014. Mínima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 3	58
Figura 4.9: Temperaturas de prueba N° 3.....	59
Figura 4.10: Temperaturas críticas en el periodo de prueba N° 1.	61
Figura 4. 11: Histograma de temperatura ambiental de prueba N° 1.	63

Figura 4. 12: Histograma de temperaturas de habitación normal de prueba N° 1.	64
Figura 4. 13: Histograma de temperaturas de habitación con muro Trombe de prueba N° 1.	65
Figura 4.14: Temperaturas mínimas en el periodo de prueba N° 2.	67
Figura 4. 15: Histograma de temperaturas ambientales de prueba N° 2.	69
Figura 4. 16: Histograma de temperaturas ambientales de prueba N° 2.	70
Figura 4. 17: Histograma de temperaturas ambientales de prueba N° 2.	71
Figura 4.18: Temperaturas promedio en el periodo de prueba N° 3.	73
Figura 4.19: Histograma de temperaturas ambientales de prueba N° 3.	75
Figura 4.20: Histograma de temperaturas de habitación con muro Trombe de prueba N° 3.	76
Figura 4.21: Histograma de temperaturas de habitación con normal de prueba N° 3.	77
Figura 4.22: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.	78
Figura 4.23: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.	79
Figura 6.1: Ubicación geográfica del sector.	89
Figura 6.2: Ubicación geográfica del sector.	90
Figura 6.3: Espesores de placas de fibrocemento.	92
Figura 6. 4: Orientación de la habitación.	93
Figura 6.5: Dimensiones de la habitación.	94
Figura 6.6: Factor de forma	95
Figura 6.7: Porcentajes máximos de ventanas de acuerdo a la zona climática y la orientación.	96
Figura 6.8: Croquis de ventanas de habitación	96
Figura 6.9: Valores de radiación a nivel nacional	98
Figura 6.10: Valores de radiación a nivel nacional	98

Figura 6.11: Distribución de paredes para análisis termodinámico.....	99
Figura 6.12: Flujo de calor en pared.....	101
Figura 6.13: Diagrama equivalente.....	101
Figura 6.14: Espacio rectangular cerrado entre paredes.....	103
Figura 6.15: Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas fríos.....	105
Figura 6.16: Flujo de calor en pared.....	108
Figura 6.17: Flujo de calor en pared.....	109
Figura 6.18: Porcentaje de nivel de sensación en el interior de la habitación ...	113

RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto se dirigió al uso de energía solar aplicada a la calefacción solar pasiva de una habitación mediante el uso de un muro Trombe, centrándose al estudio de las variables de funcionamiento como son el tipo de medio convectivo y longitud de canal del elemento colector. Se determinó las propiedades físicas de los materiales que maximicen el funcionamiento de un muro Trombe. A través de ensayos se determinó las temperaturas ambientales obtenidas al modificar las variables anteriormente manifestadas, las que sirvieron para compararlas con sistemas de construcción tradicionales como el bloque. Definiéndose una configuración adecuada que contribuya a mejorar la temperatura ambiental como factor del confort térmico y posteriormente proponer un sistema de calefacción solar pasiva con muro Trombe. Finalmente se diseñó una habitación tipo de 7.5 m², para eficiencia energética, que uso el principio de funcionamiento de muro Trombe, el mismo está constituido con paredes de fibrocemento, una pared externa y una pared interna, las mismas se encuentran separadas 10 cm, generando un espacio de canal de aire el cual funciona como elemento acumulador de energía, almacenando energía proveniente de la radiación del sol, para posteriormente cederla en horas de la noche. Esta habitación alcanzó el 62 % de conformidades térmicas de acuerdo a Normativa Ecuatoriana de la Construcción.

ABSTRACT

This project addressed the use of solar energy applied to passive solar heating a home through the use of a Trombe wall, focusing the study of operating variables such as the type of convective medium length canal collector item. The physical properties of the materials to maximize the performance of a Trombe wall was determined. Through trials ambient temperatures obtained by modifying previously expressed variables was determined, which served for comparison with traditional building systems such as the block. Defining a suitable configuration to help improve environmental temperature and thermal comfort factor and then propose a passive solar heating system with Trombe wall. Finally a room of 7.5 m², which use the principle of operation of Trombe wall, it is constructed with cement walls, an outer wall and an inner wall, designed the same are separated 10 cm, generating a channel space which functions as air energy storage element, storing energy from sunlight, and later transfer it in at night. This housing reached 62 % of thermal compliances according to Ecuadorian Building Regulations.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA

“ESTUDIO DE MUROS TROMBE DEL TIPO SIMPLE DE CIRCULACIÓN DELANTERA Y SU INFLUENCIA EN EL CONFORT TÉRMICO MEDIANTE CALEFACCION SOLAR PASIVA APLICADO A UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR”.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN

En nuestro planeta el consumo energético a aumentando considerablemente en la últimas décadas, esto se debe a la poca optimización de recursos naturales como la energía solar pasiva, la misma se caracteriza por el aprovechamiento de la energía que nos brinda de manera constante el sol. Se trata de un recurso inagotable, debido a que no necesitan fuentes de energía externa, produciendo con estos sistemas un ahorro energético. Numerosas culturas lo han aprovechado de manera intuitiva desde hace milenios, puesto que el sentirse confortable en una vivienda ha sido lo que están personas han buscado.

A nivel mundial la Arquitectura y la Ingeniería juegan un papel muy importante en el diseño de viviendas, estas deben ser diseñadas sabiamente para brindar el mayor confort térmico dentro de ellas con el mínimo gasto energético, aprovechando las condiciones climáticas del entorno.

“El muro Trombe es un sistema pasivo de recolección de energía solar de forma indirecta, que se puede utilizar para el calentamiento interno de viviendas por medio de la transferencia de calor, ya sea por conducción, convección y/o radiación. El muro Trombe es un sistema de calentamiento solar pasivo indirecto,

Edward Morse patentó el diseño en 1881 pero este fue ignorado hasta 1964. En los años 1960 el diseño fue popularizado por las construcciones que usaban los principios de las casas solares pasivas en Font-Romeu, Odeillo (Francia), por el ingeniero Félix Trombe y el arquitecto Jacques Michel.” (Olaya, 2008)

Las necesidades energéticas caloríficas en viviendas suponen un alto porcentaje en el consumo energético global. Aproximadamente, el 60 % tiene una procedencia del petróleo, un 20 % del gas, un 8 % de combustibles sólidos, y se estima que la energía de procedencia solar supone un 12 %. (Informe Comunidades Europeas N.EUR13094, 2008).

“A nivel mundial el edificio Pearl River Tower ubicado en China es un rascacielos de alto rendimiento que combina estrategias pasivas usadas individualmente en edificios alrededor del mundo, que nunca han sido aplicados juntos en uno solo con alta tecnología energética.” (Cameno, 2013)

“El sistema de climatización consta de fachadas acristaladas de doble pared, utilizando el principio de funcionamiento del muro Trombe, las que favorecen el efecto chimenea y actúan como excelentes aislantes térmicos y contribuyendo a la ventilación vertical, basada en las corrientes de convección natural” (Revista Ícono, 2013), la orientación de la fachada principal del edificio hacia el Norte permite un máximo aprovechamiento como se puede observar en la Figura 1.1.

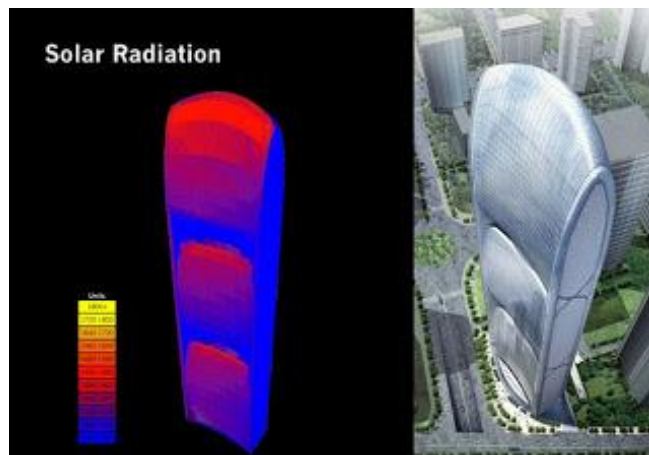


Figura 1.1: Orientación del edificio Pearl River Tower.

Fuente: (Cameno, 2013)

“En Chile, en el refugio de montaña de los arquitectos chilenos Emilio Marín, Nicolás Dorval y Juan Carlos López, el muro Trombe es parte de la casa por su emplazamiento. En este caso el espacio intermedio entre el vidrio y el muro es de 20 cm, y el sistema está mejorado por una bomba de calor, que lleva al muro aire pre-calentado gracias a la circulación bajo tierra. Durante el día, el sistema permite a la casa calentar el aire fresco a través del efecto invernadero entre la pared de cristal y la pared oscura.” (Franco, 2014)

“En Jaylihuaya, Chilacollo, Juliaca y Cuzco ciudades del Perú se han elaborado casas con el sistema de calefacción solar pasiva utilizando muros Trombe como observamos en la Figura 1.2, con el apoyo del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú y a su vez con el Servicio Nacional Para La Capacitación De La Construcción (SENCICO), mejorando las condiciones de calidad vida de las personas que habitan dichas casas, aumentando su bienestar térmico y reduciendo en consumo energético.” (SENCICO, 2012)



Figura 1.2: Construcción de muro Trombe en Chilacollo, Perú.

Fuente: (SENCICO, 2012).

En nuestro país el desarrollo sustentable en la construcción de viviendas bioclimáticas ha ido creciendo paulatinamente en los últimos años, realizándose algunas investigaciones en los diferentes sistemas que ayudan a un ahorro energético.

Uno de ellas es “el proyecto de investigación: “BIOcasa”, que pretende fortalecer los procesos de investigación científica sobre de los beneficios de la arquitectura bioclimática. Es por ello, que se propone establecer criterios básicos de actuación sobre los procedimientos de diseño y su posterior difusión académica, que

permitan generar en los profesionales y estudiantes criterios de valoración para la arquitectura, el mismo que ha sido desarrollado por la Universidad de Cuenca.” (Barragán, 2013)

El proyecto BIOcasa es un prototipo que se concibe como una vivienda modular de crecimiento progresivo y de bajo costo el cual propone diseñar viviendas sociales como se observa en la Figura 1.3, queriéndose usar modulares sencillos, que permitan la construcción prefabricada y montaje en seco, con materiales y sistemas constructivos apropiados para el entorno local, que a su vez admitan versatilidad, rapidez y posibilidades de autoconstrucción.



Figura 1.3: Proyecto BIOcasa.

Fuente: (Barragán, 2013)

“Es así, que la construcción de una nueva generación de viviendas debe competir (y con ventaja), con las técnicas tradicionales. El proyecto BIOcasa propone diseñar viviendas sociales, modulares y progresivas, con atributos diferentes a los usuales, que permitan la construcción prefabricada y montaje en seco, con materiales y sistemas constructivos apropiados para el entorno local, que a su vez admitan versatilidad, rapidez y posibilidades de autoconstrucción. Todo esto bajo el concepto de una vivienda de carácter social.” (Barragán, 2013)

Así como diversos estudios expresados bibliográficamente las diversas maneras de calefaccionar pasivamente una habitación, mediante el aprovechamiento de técnicas y sistemas como el muro Trombe, utilización de diversos materiales de construcción, eliminación de puentes térmicos y demás, pero dichos estudios se los han realizado enfocado más en sí a la arquitectura de la vivienda, faltando

datos constructivos, energéticos y termodinámicos para una correcta y eficiente climatización de una vivienda.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO

Actualmente con el desarrollo de la tecnología e implementación de recursos, así como la combinación de estrategias y técnicas, el sector inmobiliario se ha visto con la obligación de proporcionar a las personas lugares que proporcionen un cierto confort para habitarlas, pero que a su vez tengan un concepto de economía en la calidad y bajo mantenimiento e incorporando el uso de energías renovables.

La calefacción por energía solar ha sido una de las aplicaciones que más interés ha despertado en los últimos tiempos. Mediante la optimización de recursos naturales como la calefacción solar pasiva es posible contribuir a la mejora del grado de confort térmico en viviendas.

Al variar dimensiones, materiales y disposición de un muro Trombe se puede determinar los parámetros para obtener un excelente confort térmico por calefacción solar pasiva y como consecuencia un aprovechamiento de energías renovables y gratuitas, siendo una de las ventajas el aumento del confort térmico en las personas que habitan una vivienda.

Es necesario analizar las dimensiones, materiales y disposición de muros Trombe, para evaluar la temperatura de climatización, permitiendo determinar parámetros de construcción de dichos muros para mejorar el confort térmico por calefacción solar pasiva, produciéndose con esto un ahorro energético.

1.2.3 PROGNOSIS

En el caso de que el presente proyecto de investigación no se realice, no se contará con datos exactos sobre los parámetros constructivos de muros Trombe, lo que indica que se seguirán construyendo casas con pobre optimización de recursos energéticos naturales, inagotables y gratuitos generando ambientes que no produzcan un cierto nivel de confort térmico a sus ocupantes, implicando un cierto grado de inconformidad y enfermedades a causa de ambientes fríos.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Se podrá aumentar el nivel de confort térmico mediante calefacción solar pasiva al aplicar el estudio en muros Trombe simples de circulación delantera, aplicado a una vivienda unifamiliar?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES

- ¿Cómo funcionan los muros Trombe?
- ¿Cómo se determina los parámetros de confort para personas en viviendas?
- ¿Cuáles son los factores ambientales termodinámicos que intervienen en el aprovechamiento de la energía en muros Trombe?
- ¿Qué materiales intervienen en la construcción de un muro Trombe para generar un mayor rendimiento energético?

1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.6.1 DELIMITACIÓN DE CONTENIDOS

Las asignaturas involucradas son:

- Recursos Energéticos No Convencionales.
- Termodinámica I y II.
- Ingeniería en Materiales I y II.

1.2.6.2 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La investigación tiene estudios bibliográficos, los que se desarrollarán en la biblioteca, y laboratorio de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, así mismo cuenta con estudios experimentales que fueron desarrollados mi domicilio ubicado en la parroquia la Matriz, de la ciudad de Ambato.

1.2.6.3 DELIMITACIÓN TEMPORAL

El presente trabajo investigativo se desarrolló en un período comprendido entre los meses, de junio 2014 a abril del 2015.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El análisis de los parámetros constructivos de muros Trombe resulta importante porque nos permitirá conocer cómo influyen dichos parámetros en las características ambientales de viviendas, pretendiendo mejorar la temperatura ambiental como parte del confort térmico por calefacción solar pasiva, así como optimizar los recursos naturales, como la energía solar.

Existe interés en conocer los parámetros adecuados para la construcción de muros Trombe, para mejorar las viviendas mediante la calefacción consiguiendo con esto un bienestar a sus ocupantes, si se logra mejorar y aumentar el confort térmico por calefacción solar pasiva, las viviendas responderán a las expectativas de los habitantes logrando así un bienestar en estos, consiguiendo un ambiente confortable con el mínimo gasto económico.

El estudio del confort térmico mediante energías solares pasivas ha sido abordado a nivel mundial, pero no se lo ha analizado a nivel nacional tomando factores propios de nuestro país, por lo tanto el presente trabajo permitirá obtener datos adecuados para la construcción de un muro Trombe, que será utilizado en viviendas para obtener un bienestar en los ocupantes de estas.

Se considera un estudio factible de realizarlo; porque en el país y la región aún no se han realizado investigaciones para este tipo de calefacción solar pasiva; es de fácil manejo, encontrándose literatura acerca de calefacción solar pasiva, así como también del funcionamiento del muro Trombe, financieramente es aceptable, tecnológicamente es viable apuntando a una optimización de recursos energéticos, para lo cual necesitaremos instrumentos de medición de los diferentes factores ambientales, y energéticos, equipos con los cuales cuenta la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. La iniciativa de realizar el presente estudio pretende

aportar con parámetros constructivos de muros Trombe para conseguir un confort térmico por calefacción solar pasiva en viviendas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

- Estudiar los muros Trombe del tipo simple de circulación delantera para mejorar el nivel de confort térmico mediante calefacción solar pasiva aplicado a una vivienda unifamiliar.

1.4.2 ESPECÍFICOS

- Determinar los parámetros óptimos de funcionamiento en muros Trombe.
- Establecer los niveles de confort humano óptimos en viviendas unifamiliares.
- Determinar los factores ambientales termodinámicos que influyen sobre una vivienda, su importancia y su aprovechamiento para alcanzar un uso adecuado de la energía mediante un muro Trombe.
- Analizar los materiales a ser utilizados en los muros Trombe que generen un mayor rendimiento energético, en nuestro clima, ambiente y temperatura.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1.1 ANTECEDENTES

Revisada información que se relacione con el tema se pudo encontrar algunos trabajos realizados con la siguiente descripción:

Felipe Eduardo Acuña Zapata, en su memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico presentada en la Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “Modelo de un sistema tipo muro Trombe para calefacción solar”, presenta un estudio termo-fluido dinámico para el flujo de aire interior del canal de colección de energía de un muro Trombe convencional. Realizó un estudio bidimensional analizado mediante Software obteniendo flujos de calor emitidos por el muro Trombe, construyéndose un modelo diferencial bidimensional transiente para obtener resultados sobre caudales de aire, transferencia de calor y campos de flujo y temperatura en un sistema muro Trombe de escala real, usando el software de simulación multifísica Comsol 3.5a. (Acuña, 2012).

Davy Alfonso Olivera Oliva, en su tesis para optar al título de Ingeniero Mecánico presentada en la Universidad Católica del Perú, bajo el tema: “Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12 m² ubicada a 4 000 msm en Langui-Cuzco”, presenta un diseño de un suelo radiante para poder mejorar la calidad de vida de las personas en el poblado de Langui, este diseño constaba de un serpentín por el cual circula agua que previamente era calentada por paneles solares de 150 W, alcanzando una temperatura de 13 °C en el suelo de la habitación, mejorando considerablemente las condiciones de la vivienda. (Olivera, 2011)

Blas Zamora, Luis Molina y Antonio Viedma, en su artículo técnico publicado en la Revista Internacional de Métodos Numéricos Para Cálculo y Diseño de Ingeniería, Volumen 18, páginas 227-242, bajo el tema: “Estudio numérico del flujo inducido por convección natural en una pared Trombe”, realizada en 2002, presenta un estudio en los flujos inducidos por convección natural en paredes Trombe. Realizaron un balance energético, encontrando algoritmos matemáticos para determinar la temperatura a la que se encuentra el muro y el cristal que constituyen el sistema. Estas temperaturas constituyen las condiciones de contorno bajo las que se establece un flujo por convección natural, resolviéndolo mediante procedimientos de volúmenes finitos. (Zamora & Molina, 2002)

En el Ecuador, los trabajos que se pueden encontrar al respecto son los que se exponen a continuación:

Edyson Javier García Sigcho, en su tesis presentada en la Universidad de Cuenca, bajo el tema: “Criterios para la eficiencia energética en viviendas unifamiliares”, realizada en 2013, presenta un estudio de los beneficios que presenta el medio ambiente en un hogar haciendo referencia a algunas alternativas de construcción que ayuden al ahorro energético entre ellas el muro Trombe, este estudio es un recopilación bibliográfica arquitectónica, en el mismo no se presentan datos, cálculos, eficiencias, rendimientos etc., los cuales serían relevantes para la construcción de una vivienda que aproveche el uso de energías limpias y renovables. (Sigcho, 2013)

María Paz Pesantes Moyano, en su tesina previa a la obtención del título de Diseño de Interiores, en la Universidad de Cuenca, bajo el tema: “Confort térmico en el área social de una vivienda unifamiliar en Cuenca-Ecuador”, realizada en 2012, presenta un estudio de materiales naturales aislantes como la paja, madera, adobe, etc., para conseguir un confort térmico en una vivienda unifamiliar, se plantea que el diseño de esta área social no solo tenga una calidad estética, sino una calidad ambiental en lo que se refiere a temperaturas, todo esto como consecuencia de una razonable aplicación de estrategias de diseño que determinan su forma, orientación, materiales, emplazamiento, disposición de vanos y llenos,

etc., se realizó un análisis mediante software de temperaturas sin considerar radiación, convección, etc. (Pesantes, 2012)

De los trabajos mencionados anteriormente ninguno ha realizado mediciones en habitaciones reales con muros Trombe, realizándose solo análisis numéricos.

2.2 FUNDAMENTACION FILOSÓFICA

La presente investigación sobre parámetros constructivos en muros Trombe, está ubicada dentro del paradigma crítico propositivo, brindando un desarrollo de fácil comprobación y proporcionando una correcta comprensión.; crítico porque conseguirá avances dentro del área de energías e innovación en el sector inmobiliario en el Ecuador y propositivo por cuanto busca plantear una alternativa de solución de la inconformidad térmica en viviendas unifamiliares, así como la optimización de la calefacción solar pasiva la cual no produce ni un costo, y que pudiese ser utilizada en las viviendas ubicadas en lugares rurales del país.

La investigación podrá estar sometida a cambios de ser necesario, debido a la intervención del hombre y la sociedad en el ambiente industrial que con un cambio en la forma de pensar y de actuar estarán modificando el proceso tanto en aspecto físico como espiritual para enfocarlo a las necesidades del entorno.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La presente investigación estará fundamentada en las siguientes normas:

- **NTE INEN 2 506:2009**, Eficiencia Energética en Edificaciones. Requisitos. Esta norma establece los requisitos que debe cumplir un edificio para reducir a límites sostenibles.
- **NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-11**, eficiencia energética en la construcción en Ecuador.
- **NTP 779**, Bienestar térmico: Criterios de diseño para ambientes térmicos confortables.

2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.4.1 Calidad de vida

La calidad de vida está relacionada directamente al Buen Vivir de las personas, debido a que se vincula con la creación de condiciones externas e internas para satisfacer las necesidades materiales, psicológicas, sociales y ecológicas.

“No existe, por tanto, una forma de medición única y un criterio absoluto para determinar un nivel de calidad de vida, porque todo, en este sentido, es relativo, y aquello es una vida con calidad para unos, para otros no lo es.” (Guerrero, Cadeño, & Salman, 2012)

2.4.1.1 Enfoques para determinar una calidad de vida

“Entre los enfoques existentes para investigar la calidad de vida se encuentran: Los enfoques cuantitativos donde analizan factores sociales, es decir, las condiciones externas relacionadas con el entorno como la salud, el bienestar social, la amistad, el estándar de vida, la educación, la seguridad pública, el ocio, el vecindario, la vivienda, etc.; psicológicos, que miden las reacciones subjetivas del individuo a la presencia o ausencia de determinadas experiencias vitales y ecológicas, que determinan el ajuste de los recursos del sujeto y las demandas del ambiente. .” (Guerrero, Cadeño, & Salman, 2012)

Los enfoques cualitativos que adoptan una postura de escucha ante las personas que relatan sus experiencias, desafíos y problemas y cómo los servicios sociales pueden apoyarle eficazmente.

Existen muchos parámetros para determinar una calidad de vida, por tanto, para abordar el estudio de una manera empírica es necesario limitar un ámbito particular para conceptuar la calidad de vida. Por esto diferentes bibliografías han constituido cuatro ámbitos de interés y preocupación:

- El primer bloque incluye aspectos que se consideran decisivos para el bienestar general del ciudadano: trabajo, educación, sanidad, vivienda y equipos.

- Un segundo bloque se relaciona con la contribución que tiene el medio, la calidad ambiental representada por la calidad del aire, el agua, el control de residuales, el control del ruido, etc.
- Un tercer bloque de naturaleza psicosocial se vincula con el ámbito interactivo del sujeto, con sus relaciones familiares, las relaciones interpersonales, el ocio, el tiempo libre, entre otros elementos.
- Un cuarto bloque se refiere a cuestiones de cierto orden sociopolítico como la participación social, la seguridad personal y jurídica, etcétera.

Se puede observar que los cuatro bloques se relacionan en un aspecto general que es la salud de las personas, porque no existe salud, si no existe calidad de vida.

La presente investigación se enfocará en el primer bloque, específicamente analizará las condiciones de vivienda y su nivel de conformidad en aspectos térmicos.

“La investigación sobre la calidad de vida es sumamente importante, porque el concepto emerge como un principio organizador que puede aplicarse al mejoramiento de una sociedad, en especial, como la nuestra, sometida a transformaciones sociales, enfrascada en una batalla de ideas, en la búsqueda de una cultura general integral y con la certeza de que un mundo mejor es posible.” (Guerrero, Cadeño, & Salman, 2012)

Como hemos visto la calidad de las viviendas que poseen las personas, influye en su calidad de vida, esta investigación pretende mejorar este espacio donde habitan las personas con el afán de mejorar su conformidad y por tal su calidad de vida.

2.4.2 Confort térmico

El hombre siempre ha deseado crear un ambiente térmico cómodo. Esto se refleja en la arquitectura tradicional de todo el mundo, desde la historia antigua hasta el presente. Actualmente, la creación de un ambiente térmico cómodo es uno de los

parámetros más importantes que se consideran cuando se proyecta una edificación.

Según norma ISO 7730 el confort térmico “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”

Dicho confort se lo puede analizar de varias maneras tanto en climatización, arquitectónicas, ergonómicas, a pesar de que estas busquen un objetivo en común, su aplicabilidad es diferente. En climatización se realizara un análisis termodinámico tomando en cuenta factores ambientales, en lo arquitectónico se trata de aprovechar el clima y las condiciones del clima. En lo ergonómico se buscará evaluar la vivienda para determinar el nivel de confortabilidad y en el caso de que está no cumpla parámetros establecidos en Normas se tomaran correctivos.

2.4.2.1 Parámetros para generar un confort térmico

Según (NTP 779) “la valoración del ambiente térmico se basa en la respuesta humana a las diferentes situaciones provocadas por la combinación de las seis variables que definen el ambiente térmico, cuatro ambientales y dos ligadas al individuo”

Ambientales

- Temperatura del aire-ambiente
- Temperatura de paredes y objetos
- Velocidad del aire
- Humedad relativa

Individuales

- Tipo de actividad (Metabolismo Basal)

- Tipo de vestido

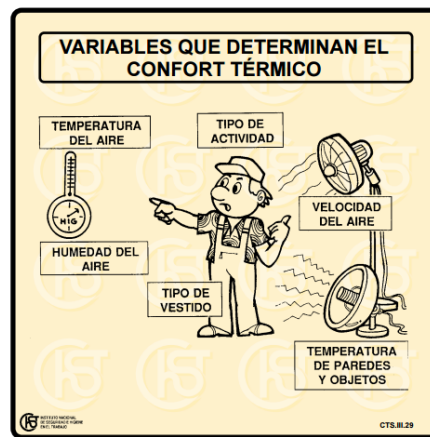


Figura 2.1: Variables del Confort Térmico.

Fuente: (NTP 74, 1983)

Como se manifiesta el bienestar y el confort térmico en una vivienda es muy importante para la sociedad actual, reflejándose un alto consumo energético. Por tanto, el reto consiste en buscar el desarrollo sostenible, manteniendo el nivel de actividad, de transformación y de progreso, pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el derroche energético.

2.4.3 Temperatura ambiental

La temperatura ambiental es la temperatura a la que se encuentra el aire que rodea al individuo. La diferencia entre esta temperatura y la de la piel de las personas determina el intercambio de calor entre el individuo y el aire, a este intercambio se le denomina intercambio de calor por convección.

También existe el intercambio de calor por radiación entre unas y otras superficies del ambiente (piel, máquinas, cristales, paredes, techos, etc.).

“El calor es una energía que no vemos pero que sentimos. En las casas llega desde el exterior a través de la temperatura del aire y de la radiación solar y puede ayudar o empeorar a que la casa mantenga una temperatura que consideremos de confort.” (Solarizate, 2012)

De forma invisible los materiales reaccionan con respecto a la energía como lo hace una esponja frente al agua. La absorbe y luego la deja escapar en más o menos cantidad según sea la calidad del material de la esponja.

“Como las casas no son aún automáticas e inteligentes y no pueden controlar que nos entre solo lo bueno del clima exterior tenemos que usar nuestra propia inteligencia. Se trata de aprovechar lo mejor de las características de los materiales para que hagan de filtro y de almacén de la energía de forma que la casa se comporte siempre de la mejor manera posible sin necesidad de tener que abusar de la calefacción o la refrigeración.” (Solarizate, 2012)

La temperatura operativa debe mantenerse entre los 18°C y los 26°C para generar un confort ambiental de acuerdo a normativa NEC 2011 XII.

2.4.4 Energías Renovables

En estos días el ahorro y el mejor uso de la energía implican una disminución del impacto sobre el ambiente local y global, y atenúan la presión sobre los recursos energéticos.

La energía limpia también conocida como energía renovable o convencional es aquella que, aprovechando los caudales naturales de energía del planeta, constituyen una fuente inagotable de flujo energético, renovándose constantemente. Dicho de forma más sencilla, son aquellas que nunca se agotan y se alimentan de las fuerzas naturales. Además cuentan con una ventaja y es que no generan residuos como consecuencia directa de su utilización. Por lo que son respetuosas con el medio ambiente, pero no todas cumplen simultáneamente con el espíritu de ambos conceptos.

2.4.4.1 Energía solar térmica

La energía solar es la energía producida por el Sol. Esta es recibida en la tierra de forma constante, las 24 horas del día y los 365 días del año y llega a la Tierra por radiación.

“La energía que llega a la Tierra, por unidad de área, en el exterior de la atmósfera es constante y asciende a $1\,353\text{ W/m}^2$. A este valor se le denomina constante solar.” (Lemvidgh, 2003).

“La energía solar que se recibe en la superficie de la tierra se ha calculado equivalente a 178 000 TW-año. No obstante, cerca del 30 % de esta energía es reflejada en el espacio, 50 % es absorbida, convertida en calor y reenviada a la superficie terrestre; de este 50 %, 4 000 TW-año son reenviados como energía calorífica bajo la forma de radiación electromagnética y 40 000 TW-año como energía calorífica propiamente dicha. Los 20 % restantes permiten la formación de los vientos (~350 TW), alimentan de energía los ciclos hidrológicos (~35 000 TW) y tan solo una muy pequeña parte de la energía solar es utilizada por la fotosíntesis, gracias a la cual la biodiversidad planetaria existe (100 TW).” (CONELEC, 2008)

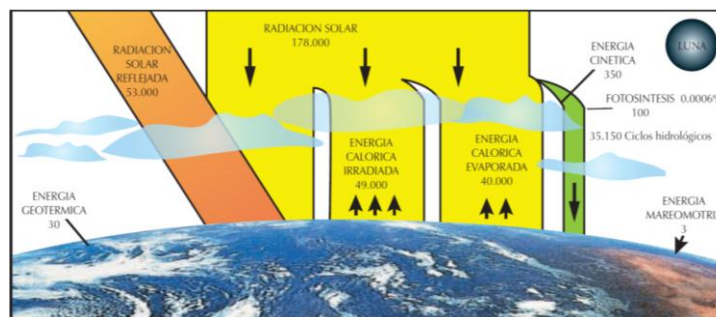


Figura 2.2: Energía que ingresa a la tierra en promedio cada año.

Fuente: (Ged, 1990)

La energía solar se puede usar directamente para calentar, enfriar o iluminar viviendas y edificios, así como para el abasto doméstico de agua caliente, en cumplimiento de todos los requisitos térmicos e higiénicos básicos, para los ricos y pobres de los países desarrollados o en desarrollo.

“En Ecuador, la Corporación para la Investigación Energética (CIE), dentro de su labor de investigación en el campo de las energías renovables y eficiencia energética para usos productivos y protección ambiental, elaboró el “Atlas Ecuatoriano de Radiación Solar” para el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC. (Mena, 2011)

Este Atlas sirve para impulsar a la utilización y desarrollo de energías renovables, contándose con datos para el diseño, selección y desarrollo de proyectos que utilicen energía solar.

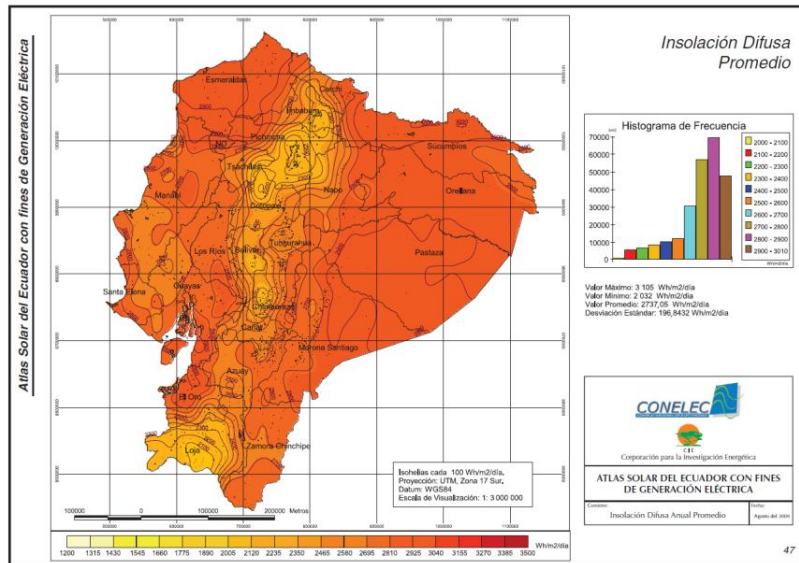


Figura 2.3: Insolación Difusa Promedio.

Fuente: (Atlas Solar del Ecuador, 2013)

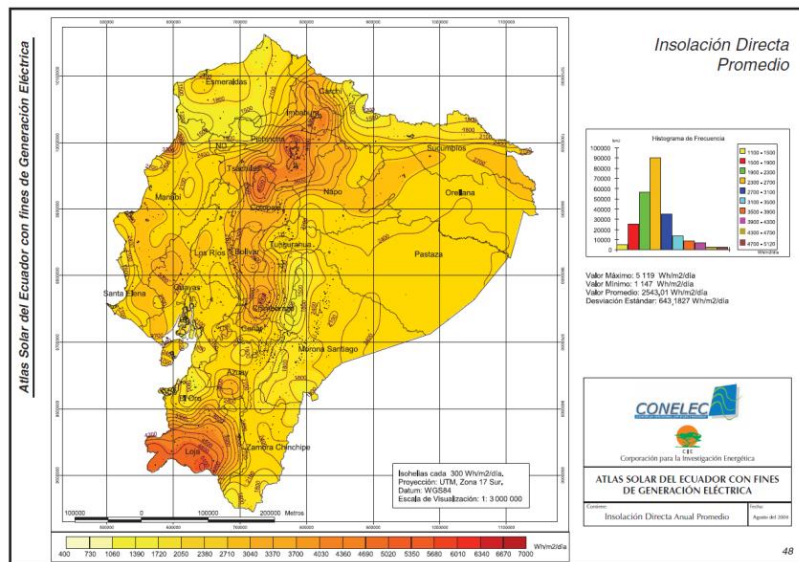


Figura 2.4: Insolación Directa Promedio.

Fuente: (Atlas Solar del Ecuador, 2013)

2.4.5 Sistemas bioclimáticos

“Los sistemas bioclimáticos pueden definirse como un sistema diseñado sabiamente para lograr un máximo confort dentro del edificio con el mínimo gasto energético. Para ello aprovecha las condiciones climáticas de su entorno, transformando los elementos climáticos externos en confort interno gracias a un diseño inteligente.” (Huaylla, 2009)

A igualdad de confort la mejor solución es la más simple y si además es sana para el planeta, mucho mejor. A esta simplicidad se llega a través del conocimiento y la utilización de los elementos reguladores del clima y de las energías renovables.

“La gran mayoría de los edificios construidos actualmente suplen su pésimo diseño bioclimático con enormes consumos energéticos de calefacción y acondicionamiento de aire.” (García, 2004)

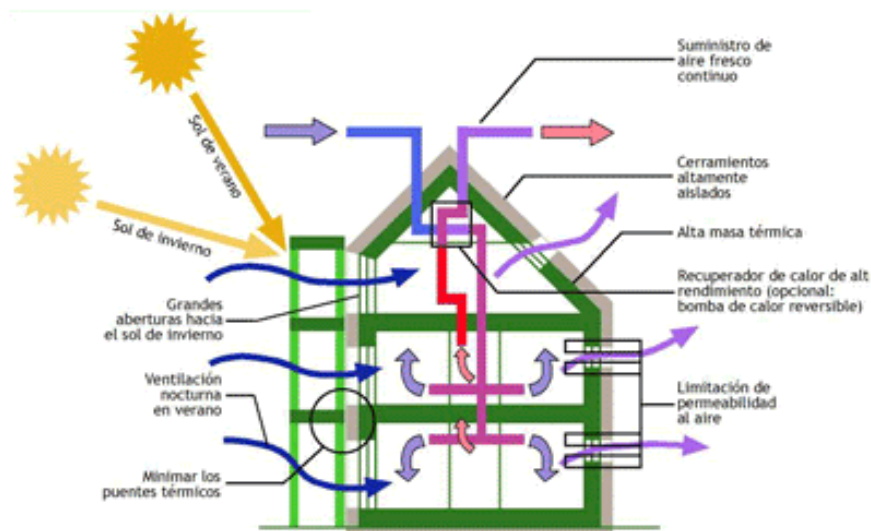


Figura 2.5: Esquema bioclimático de vivienda.

Fuente: (Verdtical, 2013)

“Con la construcción de una vivienda bioclimática como tal, se puede conseguir grandes ahorros energéticos e inclusive puede llegar a ser sostenible en su total. Actualmente este tipo de viviendas en su fase inicial de inversión pueden ser más costosas, pero son muy rentables ya que al poco tiempo de la inversión inicial se amortiza en el tiempo de consumo de cada gestión por la propia vivienda. Es un

hecho real de la creación de las ciudades de hoy en día donde mucha de estas construcciones no tienen en cuenta aspectos bioclimáticos, a esto se une el poco respecto que hay por el medio ambiente en muchos países desarrollados o envía de desarrollo.” (Verdtical, 2013)

2.4.5.1 Calefacción solar pasiva

“Los sistemas de calefacción solar pasiva, como indica su nombre, se caracterizan por el aprovechamiento de la energía que nos proporciona de manera regular el sol. Se trata de un recurso prácticamente inagotable, por lo menos en nuestra escala temporal, y lo más importante, absolutamente gratuito.” (Fernández, 2011)

Estos sistemas son útiles en los lugares que presentan temperaturas bajas durante todo el año o parte de él, pero sólo son realmente eficientes si se cuenta con el número adecuado de horas de sol al día y si la radiación es suficientemente intensa.

Ambato al encontrarse a una latitud de 1.2°, longitud de 78.56° y altitud de 2 520 msnm posee un clima templado, con épocas de frío, por lo que la utilización de sistemas solares pasivos de energía sería de gran ayuda para acondicionar viviendas y reducir el consumo energético durante la época de frío.

“Por otro lado, la eficiencia de los sistemas de calefacción solar pasiva también depende de las estrategias asumidas para evitar las pérdidas de calor, como el aislamiento de la envolvente, el empleo de acristalamiento eficiente y el uso de sistemas constructivos que reduzcan los puentes térmicos y las infiltraciones, entre otras.” (García, 2004)

“El diseño solar pasivo representa una de las estrategias más importantes para reemplazar los combustibles fósiles convencionales y reducir la contaminación ambiental en el sector de la construcción. La energía solar puede ser una gran contribución a los requerimientos de calefacción de un edificio. El objetivo es rehabilitar los edificios para que sean energéticamente más eficientes y que

ofrezcan estándares más altos de comodidad visual, térmica y de salud para los ocupantes.” (RECONSOST, 2012)

Es posible clasificar los sistemas de calefacción solar pasiva de acuerdo a los procesos involucrados en la captación de calor y la forma en que éste es suministrado a los espacios habitables. Tenemos los siguientes tipos de sistemas de calefacción solar pasiva:

I. Sistemas de ganancias directas

“Los sistemas pasivos de ganancia térmica directa son concebidos para captar energía solar y reducir las pérdidas térmicas en el interior de la vivienda. Se trata del enfoque más sencillo de la energía solar pasiva. Se produce mediante grandes aperturas vidriadas que miran hacia el sol (al sur en el hemisferio norte y al norte en el hemisferio sur) y que se abren directamente a los espacios habitables en los que debe haber masas suficientemente grandes de materiales que produzcan el almacenamiento térmico.” (Bridgewater, 2009)

Los principales factores que afectan a la eficacia de los sistemas de Ganancia Directa en los edificios son:

- Localización de las zonas vidriadas en el edificio
- Dimensionado del acristalamiento
- Elección de acristalamiento tipo
- Calidad térmica de la construcción en su conjunto.

II. Sistemas de ganancias indirectas

“Los sistemas de ganancia térmica indirecta incluyen elementos de alta masa térmica. El muro Trombe es un ejemplo típico de este tipo de ganancia, el almacenamiento se hace en una pared expuesta al sol, de considerable masa térmica, cuya superficie externa está vidriada para reducir las pérdidas de calor. Se puede desplegar algún tipo de protección aislante durante la noche para evitar

pérdidas de calor. Se podrán incluir ventilaciones arriba y abajo para permitir la transferencia de calor convectivo al espacio ocupado, mientras la pared de masa descansa en la conducción del calor. En el caso de la rehabilitación no es posible incidir sobre la orientación.” (Xavier Castells, 2011)

Un sistema de calefacción solar pasiva se constituye de elementos captadores y elementos acumuladores.

1) **Elementos captadores:** recogen la radiación solar. Entre estos:

a) **Elementos directos**

“Se denominan sistemas de captación directa a aquellos en los que la radiación solar entra directamente en el espacio que se desea caldear. Esto se consigue haciendo que los rayos solares atraviesen un vidrio y calienten el aire, los suelos y los paramentos interiores. Una simple ventana orientada hacia el sol es el primer sistema de captación solar pasiva. (Xavier Castells, 2011)

La captación solar se puede hacer a través de un invernadero, galería o terraza cubierta con vidrio. Es un espacio acristalado creado con la finalidad de captar el máximo de radiación solar.” (García, 2004)

Durante el día, el aire que se calienta en el invernadero se distribuye por toda la casa gracias a las corrientes de convección. Por la noche deben evitarse las pérdidas de calor colocando persianas o contraventanas.

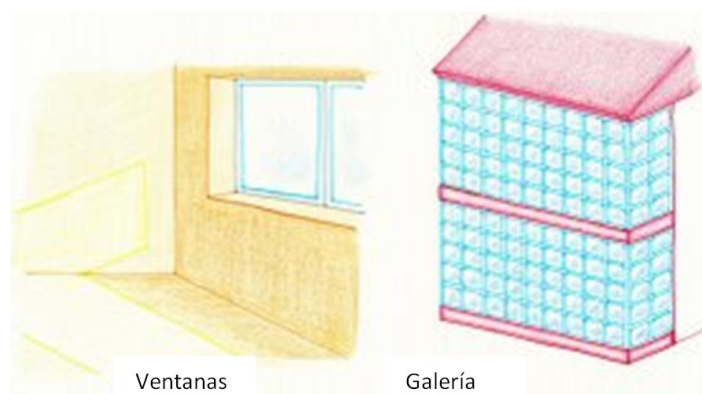


Figura 2.6: Elementos de captación directos.

Fuente: (García, 2004)

b) Elementos captadores indirectos:

Son modos de captar la radiación solar por medio de elementos constructivos que actúan de intermediarios. Captan y almacenan la energía solar que cederán posteriormente a las habitaciones.

“Una vez que los materiales de construcción han absorbido la energía solar, van cediendo lentamente la energía sobrante en forma de radiación infrarroja. La radiación infrarroja no es capaz de atravesar el vidrio, acumulándose dentro del espacio constructivo. Es el llamado efecto invernadero.” (García, 2004)

Los suelos, muros y cubierta pueden ser muy útiles para captar y almacenar la energía procedente del sol, sobre todo si son porosos ya que tienen más superficie de intercambio. En invierno los materiales de construcción acumulan energía solar durante el día que van cediendo lentamente durante la noche. El agua es también un excelente material para captar y almacenar calor.

“Si se dispone de suficiente superficie acristalada y masa térmica, es decir, muros y suelo gruesos y de materiales densos como ladrillo, piedra u hormigón, éstos pueden acumular energía para ir cediendo durante varios días nublados consecutivos. De este modo se mantendrá una buena temperatura en el interior.

Unos ejemplos tenemos el muro Trombe, cubierta de inercia térmica, inercia térmica interior, solera de grava, entre otros.” (García, 2004)

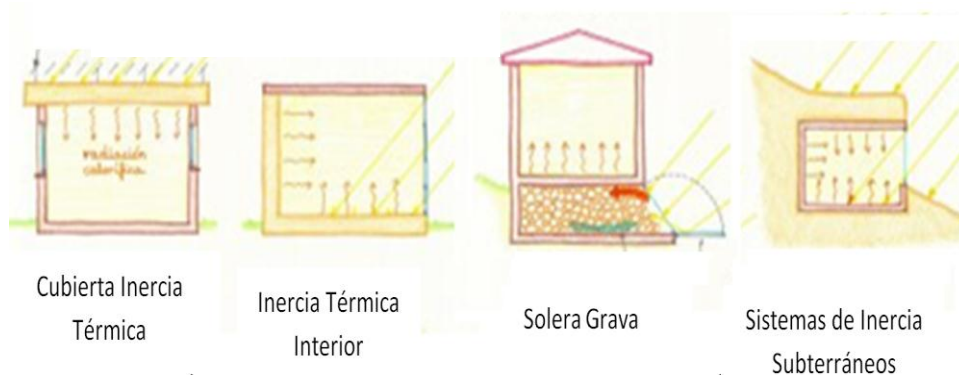


Figura 2.7: Elementos de captación indirectos.

Fuente (García, 2004)

2) Elementos acumuladores:

Son dispositivos que almacenan calor para ser cedido al edificio cuando desciende la temperatura exterior. Alguno de estos sistemas ya los hemos citado. No es necesario emplear un único sistema de acumulación. La experiencia indica que da mejores resultados la combinación de varios tipos de masas térmicas, ya que cada estación o circunstancia climática se adapta mejor a uno u otro sistema.

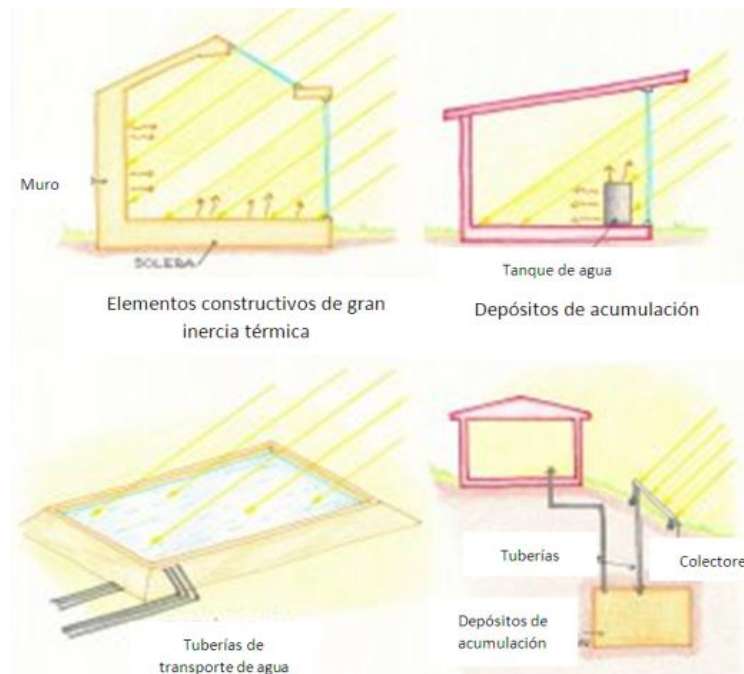


Figura 2.8: Elementos Acumuladores.

Fuente: (García, 2004)

“Un sistema completo de aprovechamiento de la energía calorífica del sol no se limita a la instalación de elementos captadores o de elementos acumuladores. Lo ideal es emplear ambos sistemas conjuntamente. Se debe hacer un estudio de las necesidades caloríficas del edificio, en función del cual se diseñarán los elementos captadores y acumuladores necesarios.” (García, 2004)

2.4.6 Muro Trombe

El muro Trombe es un sistema creado en Francia en el año 1957 por Félix Trombe y Jacques Michel, es un dispositivo diseñado especialmente para amplificar las ganancias de calor en el interior de los edificios mediante el aprovechamiento de

la radiación solar disponible, es un muro o pared orientada al sol, preferentemente al norte en el hemisferio sur y al sur en el hemisferio norte, construida con materiales que puedan acumular calor bajo el efecto de masa térmica (tales como piedra, hormigón, adobe o agua), combinado con un espacio de aire, una lámina de vidrio y ventilaciones formando un colector solar térmico.

Este muro se puede considerar un colector de aire, en el que la superficie absorbente forma un todo único con el depósito térmico y que además de ello está integrado en la vivienda. (Aleph, 2004)

“En su forma básica, el dispositivo consiste en un muro, construido con un material de elevada masa térmica (tierra, ladrillo o concreto, por ejemplo), en cuya parte exterior se puede instalar una superficie acristalada que se separa de 5 a 15cm del muro para generar una cámara de aire cerrada herméticamente. Generalmente la superficie acristalada es de vidrio de elevada transmisividad, para facilitar el paso de la radiación solar. Por otro lado, la superficie externa del muro (hacia la cámara de aire) se suele cubrir con un acabado absorbente solar selectivo, es decir, de elevada absorptividad y baja emisividad, por ejemplo pintura color negro mate, o mejor aún, chapa metálica también con terminado en negro adherida uniformemente al muro. Esto último tiene el objetivo de intensificar al máximo la absorción superficial de energía calórica.” (Aleph, 2004)

Este sistema pasivo de recolección de energía solar de forma indirecta utiliza transferencia de calor ya sea por conducción, convección y/o radiación

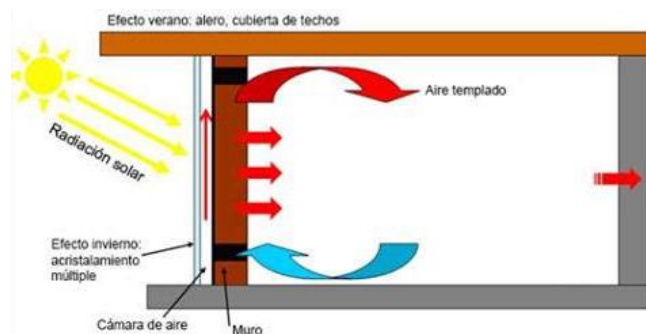


Figura 2. 9: Muro Trombe clásico.

Fuente: (Acuña, 2012)

2.4.6.1 Funcionamiento

“La radiación solar pasa a través del vidrio y calienta el muro, el cual irá calentando el aire atrapado en la cámara por convección natural. El aire caliente, más ligero se elevará en la cámara de aire y penetrará en el local a climatizar a través de la rejilla superior. Para el obligatorio cumplimiento de la ecuación de conservación de la masa se adsorberá aire frío procedente del local por la rejilla inferior dando lugar a la termocirculación.” (Mazria, 1983).

“En términos generales, el funcionamiento del muro Trombe con esta configuración básica es relativamente simple. Los rayos solares, principalmente sus componentes de onda corta, atraviesan la superficie vidriada e inciden directamente sobre la superficie exterior del muro. La superficie del muro absorbe la radiación y eleva significativamente su temperatura (mientras más alta sea la absorptividad y más baja la emisividad de la superficie mayor será el efecto de absorción y calentamiento). Al mismo tiempo, el vidrio provoca un efecto de invernadero al impedir la salida de la radiación de onda larga generada por los procesos de calentamiento, propiciando que el aire dentro de la cámara también eleve su temperatura de manera significativa. Debido a estos procesos el muro se calienta gradualmente y genera un efecto de almacenamiento de calor mientras éste es conducido al interior. Así, los máximos aportes de calor al interior del edificio, que pueden ser bastante significativos, suelen darse durante la tarde y las primeras horas de la noche.” (Aleph, 2004).

2.4.6.2 Parámetros de funcionamiento

Se puede clasificar en dos parámetros globales para la constitución y buen rendimiento de un muro Trombe, los cuales son:

Parámetros geográficos:

a. El clima: Las pérdidas de calor dependen de la diferencia de temperaturas externa e interna del cuarto. Cuanto mayor sea esta diferencia mayores serán las pérdidas por lo que en climas muy fríos se deberá sobredimensionar el muro.

b. Latitud y orientación: La energía solar incidente sobre la fachada sur en invierno en latitudes por encima del ecuador y sobre la fachada norte en latitudes por debajo del ecuador, cambia según la latitud, por ello se suele incrementar el tamaño del muro a medida que aumenta la latitud por recibir este menos calor. También se ha de tener en cuenta la trayectoria del sol durante las diferentes épocas del año.

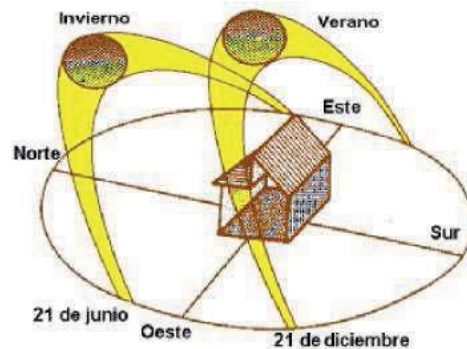


Figura 2.10: Orientación del Sol. Solsticios.

Fuente: (Acuña, 2012)

Parámetros constructivos:

a. Tipo de materiales

“La decisión de usar unos materiales u otros puede tener un gran impacto en el desempeño térmico y energético de los edificios. No todos los materiales son iguales, y no todos los materiales tienen el mismo comportamiento ante diferentes condiciones ambientales. Por otro lado algunos materiales tienen cualidades que, si se aprovechan, pueden ayudar a resolver las exigencias climáticas a las que se ven sometidos los edificios.” (Evans, 1980)

Podemos afirmar que conocer con cierto detalle las características térmicas de los materiales empleados en la edificación resulta indispensable para tomar decisiones de diseño adecuadas.

El tipo de materiales involucra sus propiedades físicas tales como son: su conductividad térmica, masa térmica, densidad, inercia térmica, coeficiente de absorción de calor de los colores, entre otros.

b. Conductividad térmica

Es la propiedad física de cualquier material que mide la capacidad de conducción del calor a través del mismo. La conductividad térmica es una capacidad elevada en los metales y en general en cuerpos continuos, y es más baja en los gases, siendo muy baja en algunos materiales especiales tales como la fibra de vidrio, denominados por ello, aislantes térmicos.

De tal modo que el comportamiento de los cerramientos y en general de los componentes de la construcción, tienen un papel doble desde el punto de vista térmico; por un lado, uno puramente de resistencia y otro, al que se le da mucha menor importancia, que es el capacitivo o inercial.

El resistivo depende directamente del espesor e inversamente del coeficiente de conductividad térmica, y el capacitivo es directamente proporcional al calor específico, al espesor y a la densidad.

c. Masa térmica

“La masa o inercia térmica se define como la capacidad de un material de absorber calor, almacenarlo, y posteriormente liberarlo y entregarlo. En general, cuanto mayor es el peso específico de los materiales de construcción, mejora su capacidad para almacenar grandes cantidades de energía calórica y en consecuencia, se traduce en una masa térmica elevada.” (Sustainable Energy Authority-Victoria, 2012.)

Proyectando la envolvente de un edificio con materiales de masa térmica considerable, se pueden reducir las temperaturas extremas que experimentan los usuarios dentro de la vivienda. De esta manera, se logra que la temperatura interior promedio sea moderada a lo largo del año, y por consiguiente, en términos de habitabilidad, se obtiene un mejor nivel de confort. (INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO, 2011)

“La utilización de materiales con gran masa térmica puede reducir la energía necesaria para calefaccionar y refrigerar un local hasta un 25 %, comparado con

una vivienda construida con materiales livianos, con baja masa térmica.” (Sustainable Energy Authority-Victoria, 2012.)

Los materiales constitutivos de un muro Trombe son:

d. El muro

Debe tener gran capacidad de absorción y de guardar calor. Estos factores dependen básicamente la conductividad térmica (baja) y de la resistencia del muro (mayor).

“Por eso, es sumamente importante tener en cuenta el grosor del muro, es decir, debe existir un grosor óptimo, porque si no, se puede producir un sobrecalentamiento de la pared. Se recomienda utilizar los siguientes valores” (Mazria, 1983).

Material	Espesor recomendado (cm)
Fibrocemento	5-10
Adobe	10-20
Ladrillo	15-25
Hormigón	20-35

Tabla 2.3 Espesores Recomendados

Fuente: (Mazria, 1983)

Parámetros termodinámicos de transferencia de calor

Una parte importante del proyecto que se ha desarrollado se centra en el estudio de la transferencia de calor. Estudiando la transferencia de calor se podrán obtener resultados como las pérdidas de calor por las paredes de la casa, la influencia de la radiación solar, etc.

La transferencia de calor se define como “energía térmica en movimiento debido a una diferencia de temperaturas” (Incropera, Frank P., De Witt, David P., 2001).

Esta “energía en movimiento” surge a partir de un combustible que al quemarse se transforma en un tipo de energía que es capaz de calentar una vivienda entre otras muchas cosas. Para los procesos de ingeniería es muy importante entender los mecanismos físicos que llevan consigo los distintos modos de transferencia de calor y así poder usar unas ecuaciones que modelen los procesos de forma que se pueda cuantificar la cantidad de energía transferida por unidad de tiempo. A continuación se van a estudiar los distintos modos de transferencia de calor.



Figura 2.11: Tipos de transferencia de calor en una vivienda

Fuente: (Mazria, 1983)

Entre los tipos de transferencia de calor presentes en nuestro estudio tenemos:

a. Por conducción

“El fenómeno de transferencia de calor por conducción constituye un proceso de propagación de energía en un medio sólido, líquido o gaseoso mediante la comunicación molecular directa cuando existe un gradiente de temperatura.” (Manrique, 2004).

Para explicar correctamente el término de conducción, hay que recurrir a conceptos como el de actividad molecular. Utilizando estos conceptos el fenómeno de conducción puede ser explicado como “transferencia de energía desde las partículas más energéticas a las menos energéticas de un material debido a interacciones entre las partículas”. (Incropera, Frank P., De Witt, David P., 2001).

Para el fenómeno de conducción se conoce como la Ley de Fourier, y la ecuación tiene la siguiente forma:

$$q' = -k * \frac{dT}{dx} \quad \text{Ecuación 2. 1}$$

Esta ecuación representa que el flujo de calor es el calor transferido en la dirección x por unidad de área perpendicular a la dirección de transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El parámetro k es una propiedad de transporte del material conocido como la conductividad térmica (W/m*K). El símbolo menos representa que el calor se transfiere en la dirección de temperatura decreciente.

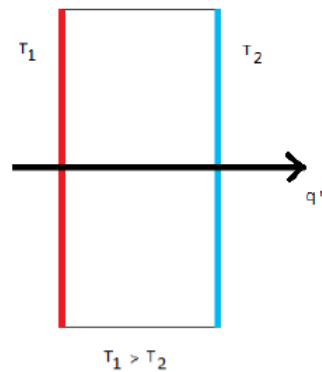


Figura 2.12: Fenómeno de conducción a través de un sólido estacionario.

Fuente: Fernández Juan. Consumo energético.

b. **Por convección**

“El fenómeno de transferencia de calor por convección es un proceso de transporte de energía que se lleva a cabo como consecuencia del movimiento de un fluido (líquido o gas) en la vecindad de una superficie, y está íntimamente relacionado con su movimiento”. Se habla de convección forzada cuando aceleramos esta circulación de fluidos para mejorar los intercambios térmicos y de convección natural cuando se realiza en condiciones normales sin alterar velocidades del sistema. (Manrique, 1976)

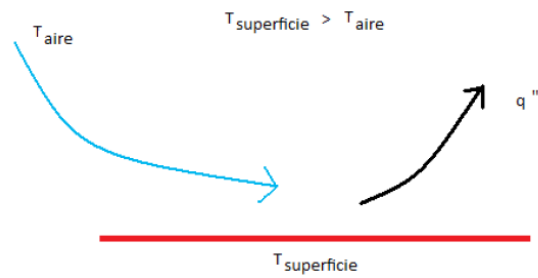


Figura 2.13: Convección de una superficie a un fluido en movimiento.

Fuente: Fernández Juan. Consumo energético.

La transferencia de calor por convección puede clasificarse de acuerdo a la naturaleza del flujo que ataca la superficie. Se dice que es convección forzada cuando el flujo es inducido por componentes externos como pueden ser ventiladores. El fenómeno se clasifica como convección natural cuando el fluido se mueve sin ningún factor externo que provoque este movimiento, como puede ser una diferencia de densidad causada por la diferencia de temperaturas en el fluido.

La ecuación que describe el proceso de transferencia de calor por convección tiene la siguiente forma

$$q = h * (T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación 2. 2}$$

Donde el flujo de calor convectivo es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y el fluido. Esta expresión se conoce como la ley de enfriamiento de Newton y el parámetro h , se conoce como el coeficiente de convección. Este coeficiente de convección depende de la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y un conjunto de propiedades de transporte y termodinámicas del fluido.

El flujo de calor es positivo siempre que el calor se transfiera de la superficie al fluido, y negativo en el caso contrario.

El coeficiente de transferencia de calor por convección “ h ”, está en función de muchas variables, para ser calculado de forma aproximada se deben considerar los

siguientes parámetros, determinados para convección natural aplicada a un cilindro largo horizontal:

$$Re = \frac{v * L}{\nu} \quad \text{Ecuación 2. 3}$$

$$Nu_L = 0,664 * Re^{\frac{1}{2}} * Pr^{1/3} \quad \text{Ecuación 2. 4}$$

$$Nu_L = \frac{h * L}{k} \quad \text{Ecuación 2. 5}$$

La ecuación experimental 2.5 se cumple a cabalidad para todos los elementos cuyo número de Prank (Pr) sea superior a 0,7 y se encuentren en régimen laminar.

c. **Por radiación**

Es una transmisión de calor a través de ondas electromagnéticas. “A una temperatura dada todos los cuerpos emiten radiación en diferentes longitudes de onda, pero la magnitud de ésta depende de la temperatura absoluta y de las características superficiales de dichos cuerpos. Por otra parte, sólo se considera radiación térmica la que se ubica en el rango de longitudes de onda entre 0.1 y 100 micrones, aproximadamente.” No necesita un soporte material ya que las radiaciones electromagnéticas se transmiten en el vacío. Es el modo por el que llega hasta nosotros el calor del sol. (Manrique, 2004).

El flujo de calor emitido por una superficie real es siempre menor que el de un cuerpo negro a esa misma temperatura. El cuerpo negro es un caso límite, en el que toda la energía incidente desde el exterior es absorbida, y toda la energía incidente desde el exterior es emitida, pero no existe en la naturaleza un cuerpo negro.

Si se trata de un cuerpo gris, cuya absorptividad es igual a la emisividad ($\epsilon = \alpha$), la cantidad neta de radiación transferida desde la superficie es:

$$Eb = \epsilon * \sigma * (Ts^4 - Tsup^4) \quad \text{Ecuación 2. 6}$$

Donde ϵ es una propiedad de superficie denominada emisividad. Su valor va entre 0 y la unidad y da una idea de lo eficiente que es la superficie en relación con el cuerpo negro. Está muy ligado este coeficiente a la superficie y el acabado superficial del material.

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma=5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) y la temperatura T_s es la temperatura absoluta del cuerpo.

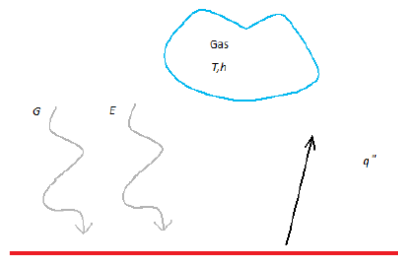


Figura 2.14: Transferencia de calor por radiación de una superficie de emisividad ϵ , absorptividad α y temperatura T .

Fuente: Fernández Juan. Consumo energético.

2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

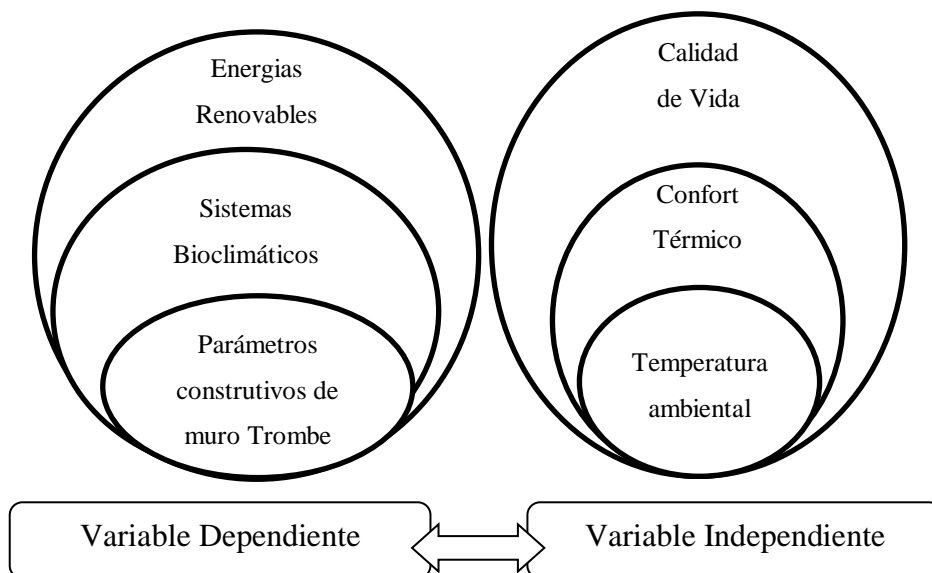


Figura 2.15: Categorías fundamentales

Fuente: Autor

2.6 HIPÓTESIS

Al variar los parámetros constructivos en muros Trombe del tipo simple de circulación delantera, se podrá incrementar la temperatura ambiental como factor del confort térmico en viviendas unifamiliares.

2.7 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES

2.7.1 Variable independiente

Parámetros constructivos de muros Trombe del tipo simple de circulación delantera.

2.7.2 Variable dependiente

Temperatura ambiental

2.7.3 Conector

Se podrá.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

El proyecto se fundamentó en un enfoque Cuanti–Cualitativo, debido a que se orientó al análisis de las propiedades físicas de los elementos constituyentes del muro Trombe, propiedades que fueron obtenidas de fuentes bibliográficas, además que se apuntó a medir las variaciones de temperatura ambiental ocasionadas al variar los parámetros constructivos en un muro Trombe.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

Proyecto factible con verificación de hipótesis, por lo que se realizó una investigación experimental y bibliográfica.

3.2.1 Experimental

La investigación fue de modalidad experimental, debido a que los resultados que arrojaron las pruebas a desarrollarse, permitieron generar un estándar experimental para su futura aplicación en la industria inmobiliaria, obteniéndose medidas y tipo de materiales y medios convectivos que involucren un mayor rendimiento del muro Trombe incrementando la temperatura ambiental en una vivienda unifamiliar.

3.2.2 Bibliográfica

El presente estudio por su contextualización se necesitó la aplicación de la modalidad de investigación bibliográfica por requerir fuentes de libros, tesis, publicaciones, referencias de proveedores, artículos técnicos de internet y más para su desarrollo.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Exploratorio

Este tipo de estudios se los realiza cuando el tema no ha sido abordado antes o cuando el problema de investigación ha sido poco estudiado. El nivel fue exploratorio con el objetivo de realizar el análisis de los parámetros constructivos que influyen en un muro Trombe, mismos que no han sido analizados en detalle en nuestro medio.

3.3.2 Descriptivo

El estudio fue descriptivo pues uno de los fines del mismo es describir el origen, propiedades, funcionamiento y dimensionamiento de un muro Trombe. A más se describió la ganancia de temperatura ambiental como variable del confort térmico en una habitación al implantarse un muro Trombe.

3.3.3 Correlacional

La investigación tuvo como propósito medir el grado de relación que existe entre las dos variables, realizándose gráficas que involucren las diferentes configuraciones constructivas de un muro Trombe vs. Temperatura ambiental.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La investigación fue experimental y técnica, por lo que el universo de estudio del presente proyecto estuvo constituido por los parámetros constructivos en muros Trombe que nos permitieron la medición de la temperatura y humedad en el interior de una habitación.

Estas magnitudes ambientales son variables según las distintas épocas del año y de acuerdo a la hora del día.

Las magnitudes medidas y cuantificadas fueron las siguientes: temperatura y humedad.

Los datos de temperatura y humedad corresponden a las 24 mediciones que se tomaron por día respectivamente, teniéndose la tabla 3.1 que nos muestra el número total de nuestra muestra siendo esta de 6048 mediciones.

Tabla 3. 1: Muestra

Habitación	Canal de aire (cm)	Medio convectivo	Días	Datos de temperaturas	Datos de humedades	Total
Con muro Trombe	5	Aire	14	336	336	672
	10	Aire	14	336	336	672
		Agua	14	336	336	672
Sin muro Trombe	N/A	N/A	42	1008	1008	2016
Exterior	N/A	N/A	42	1008	1008	2016
				3024	3024	6048

Fuente: Autor

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente: Parámetros constructivos de muros Trombe del tipo simple de circulación delantera

Tabla 3.2: Variable independiente

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
Factores que influyen en el rendimiento energético de un muro Trombe, estos son: las propiedades físicas y térmicas de los materiales y configuraciones a usarse en este muro.	Propiedades físicas.	¿Qué materiales se utilizará en estudio energético de muro Trombe?	Fibrocemento	Bibliográfica Ficha de toma de datos. Pruebas de laboratorio.
			Bloque	
	Propiedades térmicas	¿Cuánto deberá medir el canal del medio convectivo, para una mayor eficiencia del muro Trombe?	5 cm	
			10 cm	
		¿Cuál será el mejor medio convectivo del colector de energía?	Sin medio convectivo	
			Aire	
¿La masa térmica óptima del elemento acumulador se halla en los rangos?	Agua			
	4 000 KJ/m ³ .K			
	1 530 KJ/m ³ .K			
	550 KJ/m ³ .K			

Fuente: Autor

Variable dependiente: Temperatura ambiental.

Tabla 3. 3: Variable dependiente

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍNDICE	TÉCNICA E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
Factor que determina el bienestar térmico de las personas, la temperatura ambiental se manifiesta de manera diferente en las diferentes estaciones del año, considerándose en nuestro medio: Verano e invierno.	Invierno	¿Cuál es la temperatura ambiental óptima para generar un confort térmico en invierno?	<15 °C 15 °C - 26 °C >26 °C	Fichas para toma de datos. Norma NTE 2011
	Verano	¿Cuál es la temperatura ambiental óptima para generar un confort térmico en verano?	<15 °C 15 °C - 26 °C >26 °C	

Fuente: Autor

3.6 RECOLECCIÓN DE DATOS

En lo correspondiente a las propiedades físicas de los elementos que constituyen el muro Trombe como la conductividad y masa térmica, fueron obtenidos mediante una recopilación bibliográfica de libros y datos del proveedor. De igual manera se lo realizó con los medios convectivos como son el aire y el agua, determinándose factores, propiedades y demás datos que fueron utilizados en la investigación.

La habitación normal que sirvió como objeto de comparación de nuestra investigación se utilizaron materiales tradicionales como: el bloque (10 cm de espesor), unido y revestido con una capa de cemento para su buen acabado superficial.

En el tipo de elementos constitutivos del muro Trombe se simulará una habitación promedio, el mismo se lo construyó con placas de fibrocemento que permitieron variar dimensiones del medio convectivo en el ancho interior del canal del muro (5 cm-10 cm). A su vez se cambió el medio convectivo en el interior del canal de aire de los muros, haciéndose experimentaciones con aire y posteriormente con agua.

Una vez que se determinó los materiales a usarse así como habiéndose definido las 3 configuraciones de nuestro estudio, las cuales nos permitieron tener un mejor enfoque de las influencias de estos parámetros en la temperatura ambiental de una vivienda se procedió a tomar las medidas de temperatura y humedad, tomándose datos cada hora durante 14 días para cada configuración de muro Trombe. Se tomó la mayor cantidad de datos que brindaron un mejor resultado, se tomaron datos de temperatura ambiental y de humedad en tres sitios (habitación con muro Trombe, habitación normal y en el ambiente exterior).

Estas magnitudes se registraron en la ficha de toma de datos (Anexo 11), tomando datos en todas las horas del día por alrededor de 42 días que duró nuestra investigación de campo y experimental.

Los datos fueron tomados en la siguiente ubicación:

- **Ubicación:** Ambato, parroquia La Matriz, Yahaira y Pizarro 06-20.
- **Clima:** Templado
- **Altitud:** 2632 m.s.n.m
- **Latitud y orientación:** 1° 14' 50.40" S; 78° 37' 53.34" O



Figura N°3. 1: Ubicación geográfica del sector.

Fuente: Google Earth.

3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.7.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN RECOGIDA

Los datos obtenidos de los ensayos de las variaciones realizadas se procesaron mediante:

- Recopilación de datos de las 3 variaciones mencionadas, sacando máximos, mínimos y promedios de las mismas. Debido al gran número de datos que se obtuvo y al ver que la temperatura es un factor que cambia drásticamente se realizó un exhaustivo análisis de datos, tomándose los datos de los días en los cuales se obtuvieron las temperaturas máximas y mínimas de cada configuración.

- Representación de los resultados a través de curvas que permitieron identificar la mejor combinación de los parámetros constructivos del muro Trombe.

Para comprobar la validez de los datos que cumplieron la hipótesis de una forma técnica, estadística y sencilla, aplicándose la prueba T-student recomendada para menores de 30 datos, la misma que permitió sacar conclusiones generales para toda la población a partir del estudio de una muestra, y el grado de fiabilidad o significación de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La tabla 4.1 describe el cronograma de mediciones que se realizó y por tal su análisis respectivo de los resultados.

Tabla N° 4.1: Cronograma de mediciones y configuraciones.

Prueba N°	Fecha inicial	Fecha final	Tipo de configuración
1	Lunes, 20 de octubre de 2014	Domingo, 02 de noviembre de 2014	Muro Trombe. Canal de aire=5 cm Medio convectivo=aire
2	Lunes, 03 de noviembre de 2014	Domingo, 16 de noviembre de 2014	Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=aire
3	Martes, 18 de noviembre de 2014	Lunes, 01 de diciembre de 2014	Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=agua

Fuente: Autor.

Para el análisis de datos se tomaron los días en los que se presentar las máximas y mínimas temperaturas respectivamente en las tres pruebas, teniéndose las siguientes tablas de comportamientos para:

4.1.1 PRUEBA N°1

Tabla N° 4.2: Valores de temperaturas correspondientes al día 25/10/2014 siendo la temperatura ambiental máxima registrada en el periodo de prueba N° 1.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Fecha	sábado, 25 de octubre de 2014						
	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=5 cm Medio convectivo=aire		Habitación Normal	
Tiempo (HORAS)	Radiación (w/m²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
0:00	0,0	14,9	56,0	16,7	55,0	15,9	56,0
1:00	0,0	14,1	56,0	15,9	56,0	15,3	57,0
2:00	0,0	13,6	51,0	15,5	50,0	14,7	51,0
3:00	0,0	13,2	52,0	14,9	52,0	14,1	52,0
4:00	0,0	13,3	63,0	14,4	53,0	13,5	53,0
5:00	0,0	12,8	54,0	14,2	64,0	13,5	64,0
6:00	0,0	13,0	55,0	14,9	54,0	14,0	55,0
7:00	88,2	25,2	54,0	15,7	54,0	16,3	54,0
8:00	250,4	27,5	53,0	22,8	52,0	23,5	52,0
9:00	401,2	29,7	57,0	26,9	56,0	26,8	56,0
10:00	302,4	23,8	46,0	28,0	45,0	27,0	46,0
11:00	507,5	24,7	40,0	31,2	40,0	27,9	41,0
12:00	605,8	24,8	34,0	31,0	34,0	28,2	35,0
13:00	489,3	21,0	37,0	28,0	36,0	25,4	36,0
14:00	401,5	18,8	41,0	20,9	41,0	19,5	41,0
15:00	345,2	19,5	46,0	21,1	46,0	20,3	46,0
16:00	241,5	18,3	51,0	20,9	51,0	19,8	51,0
17:00	70,5	17,5	52,0	20,3	53,0	18,1	53,0
18:00	25,1	16,5	56,0	18,8	55,0	17,5	56,0
19:00	0,0	16,1	57,0	17,1	57,0	16,9	57,0
20:00	0,0	15,1	59,0	15,7	58,0	15,6	58,0
21:00	0,0	13,7	61,0	14,9	60,0	14,2	60,0
22:00	0,0	13,6	64,0	14,8	63,0	14,0	63,0
23:00	0,0	13,4	66,0	14,9	66,0	13,9	67,0
Promedio	310,7	18,1	55,0	19,5	54,6	18,6	55,0
Máximo	605,8	29,7	66,0	31,3	66,0	28,2	67,0
Mínimo	0,0	12,8	34,0	14,2	34,0	13,5	35,0
Δ	605,8	16,9	32,0	17,1	32,0	14,7	32,0

Fuente: Autor.

- **Gráfica de temperaturas del día sábado 25 de octubre de 2014.**

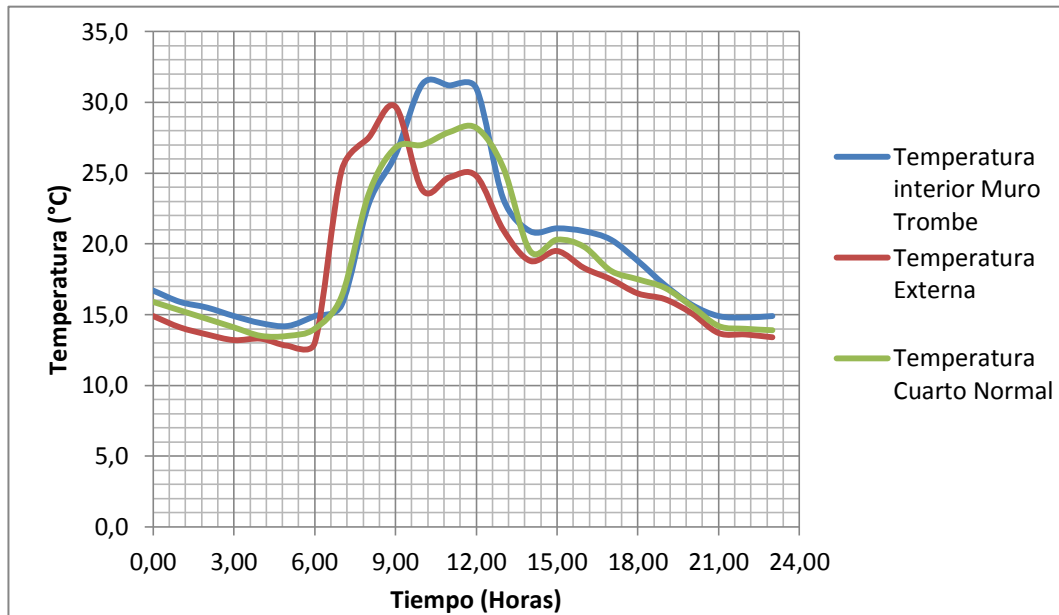


Figura 4.1: Temperatura máxima ambiental correspondientes al día 24/10/2014 de prueba N° 1.

Fuente: Autor.

Tomando el día de máxima temperatura registrada en el periodo N° 1, se observó que la temperatura máxima en la habitación con Muro Trombe es de 31,2 °C, ocurriendo esto a las 11:00 horas, existiendo una variación de temperatura respecto a la del medio ambiente de 6,5 °C. Mientras que en la habitación normal alcanzó su máxima temperatura de 28,2 °C a las 12:00 horas con una variación a la del medio ambiente de 3,4 °C.

Comparando las variaciones (Temperatura de habitación con muro Trombe – Temperatura de habitación normal) de las dos habitaciones del estudio, la mayor variación ocurre a las 11:00 horas con un diferencial de temperatura de 3,3 °C, mientras que la mínima variación ocurre a las a las 08:00 horas con una diferencia negativa de -0,7 °C, esto se debe a la variación brusca de la temperatura ambiental, normalizándose después de una hora, en la cual a partir de ahí la temperatura en la habitación con muro Trombe será mayor que en la habitación normal. La humedad relativa en las dos habitaciones no tiene una variación significativa en las habitaciones, variando entre 1 a 2 % de esta.

Tabla N° 4.3: Valores de temperaturas correspondientes al día 24/10/2014 siendo la temperatura ambiental mínima registrada en el periodo de prueba N° 1.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Fecha	viernes, 24 de octubre de 2014						
	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=5 cm Medio convectivo=aire		Habitación Normal	
Tiempo (HORAS)	Radiación (w/m2)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
0:00	0,0	10,3	58,0	11,6	58,0	10,9	58,0
1:00	0,0	9,8	50,0	11,2	59,0	10,8	50,0
2:00	0,0	9,3	59,0	10,8	59,0	9,9	50,0
3:00	0,0	8,5	51,0	9,5	50,0	9,1	50,0
4:00	0,0	8,5	53,0	9,3	51,0	8,9	52,0
5:00	0,0	9,1	52,0	9,9	52,0	9,3	52,0
6:00	0,0	9,9	53,0	10,3	52,0	10,1	52,0
7:00	10,7	12,4	52,0	12,0	54,0	12,2	55,0
8:00	122,3	22,8	55,0	16,7	58,0	17,1	57,0
9:00	205,8	25,1	58,0	23,0	50,0	22,8	51,0
10:00	33,4	20,9	50,0	26,8	52,0	23,5	52,0
11:00	507,2	25,1	52,0	29,9	52,0	26,5	53,0
12:00	688,8	25,8	47,0	32,1	47,0	29,9	48,0
13:00	602,5	25,4	36,0	31,4	36,0	29,8	35,0
14:00	498,3	25,7	35,0	31,3	35,0	29,6	35,0
15:00	402,1	24,4	34,0	30,6	34,0	28,9	34,0
16:00	302,1	22,3	35,0	27,1	35,0	25,2	34,0
17:00	85,6	19,8	39,0	23,5	38,0	21,3	39,0
18:00	2,4	17,3	40,0	19,8	41,0	17,8	40,0
19:00	0,0	16,5	45,0	18,3	45,0	16,9	46,0
20:00	0,0	16,1	49,0	17,9	49,0	16,5	49,0
21:00	0,0	15,6	50,0	17,1	50,0	16,1	50,0
22:00	0,0	15,1	52,0	16,6	51,0	15,9	51,0
23:00	0,0	15,3	54,0	17,0	54,0	15,5	54,0
Promedio	288,4	17,1	57,0	19,3	55,9	18,1	56,1
Máximo	688,8	25,8	78,0	32,1	78,0	29,9	77,0
Mínimo	0,0	8,5	34,0	9,3	34,0	8,9	34,0
Δ	688,8	17,3	44,0	22,8	44,0	21,0	43,0

Fuente: Autor

- **Gráfica de temperaturas del día sábado 25 de octubre de 2014.**

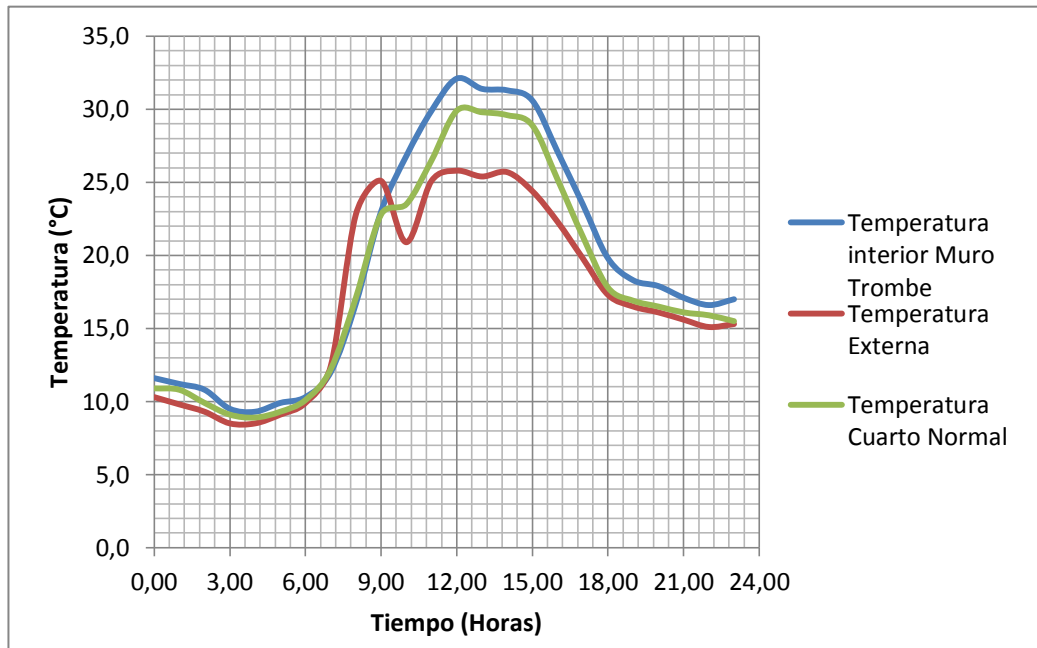


Figura 4.2: Temperaturas del día 24/10/2014. Mínima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 1.

Fuente: Autor.

Tomando el día en el cual se registró la temperatura más baja de la etapa duradera de la etapa N° 1, se observó que la temperatura mínima en la habitación con Muro Trombe es de 9,3 °C, ocurriendo esto a las 04:00 horas teniéndose una variación de temperatura respecto al medio ambiente de 0,8 °C. Mientras que en la habitación normal alcanzó su mínima temperatura de 8,9 °C a las 04:00 horas con una variación de temperatura respecto al medio ambiente de 0,4 °C.

Comparando las variaciones de las dos habitaciones del estudio, la mayor es de variación de 3,4 °C a las 11:00 horas, la mínima ocurre a las a las 08:00 horas con una diferencia negativa de - 0,4 °C, normalizándose después de dos horas, en la cual a partir de ahí la temperatura en la habitación con muro Trombe será mayor que en la habitación normal.

La humedad es normal, encontrándose una diferencia poco significativa entre las dos habitaciones.

Temperaturas en todas las horas de la prueba N°1

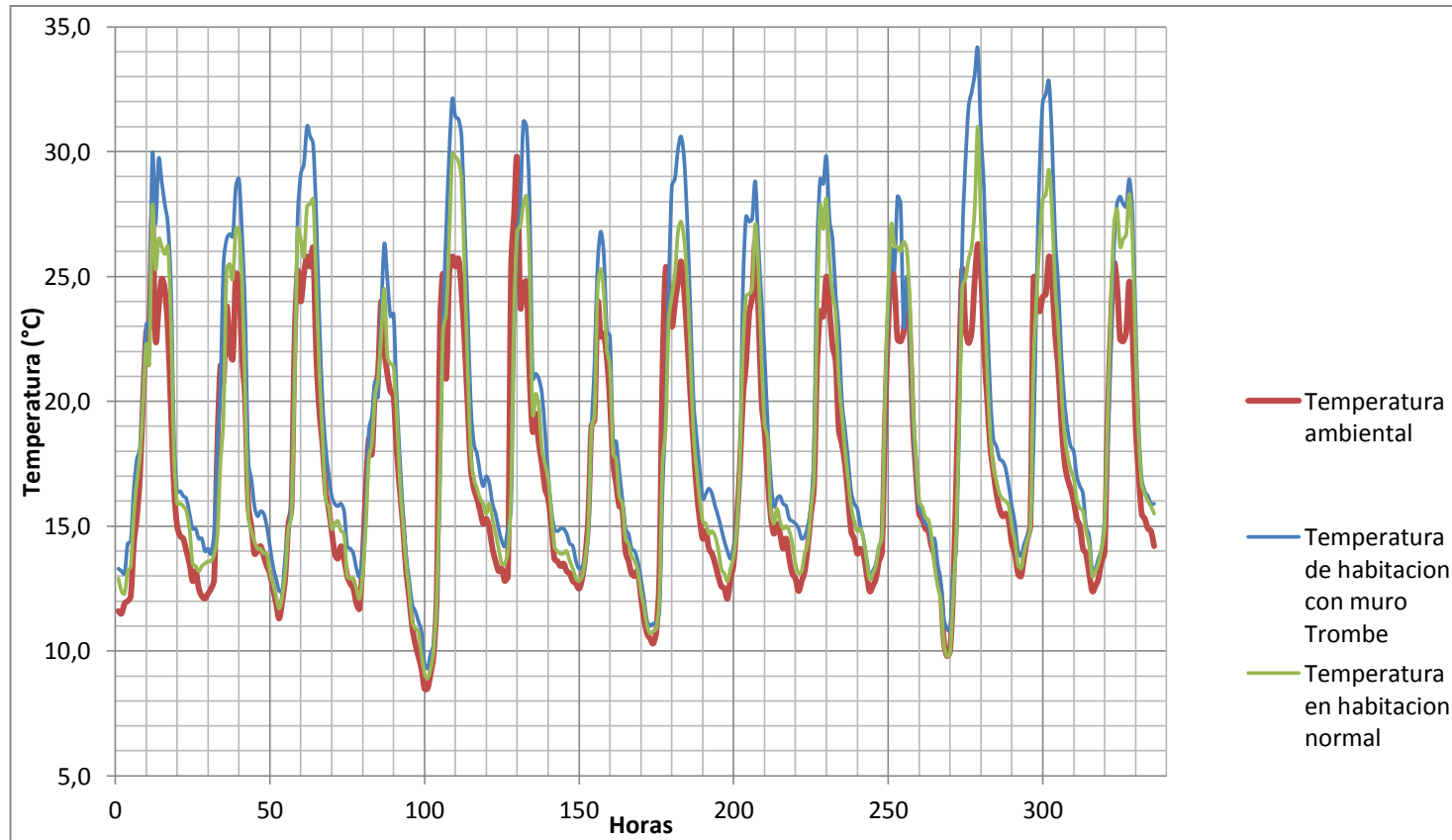


Figura 4. 3: Temperaturas de prueba N° 1

Fuente: Autor.

4.1.2 PRUEBA N°2

Tabla N° 4.4: Valores de temperaturas correspondientes al día 06/11/2014 siendo la temperatura ambiental máxima registrada en el periodo de prueba N° 2.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Fecha	jueves, 06 de noviembre de 2014						
	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=aire		Habitación Normal	
Tiempo (HORAS)	Radiación (w/m²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
0:00	0,0	14,9	58,0	16,8	58,0	15,6	58,0
1:00	0,0	13,3	55,0	16,2	55,0	14,6	55,0
2:00	0,0	12,8	50,0	14,9	50,0	13,7	50,0
3:00	0,0	12,3	53,0	13,2	53,0	12,6	53,0
4:00	0,0	13,5	58,0	13,9	58,0	13,5	58,0
5:00	0,0	14,1	62,0	15,0	62,0	14,3	62,0
6:00	0,0	14,5	65,0	15,5	65,0	14,8	65,0
7:00	87,6	15,4	67,0	15,9	67,0	15,4	67,0
8:00	167,8	16,5	67,0	17,4	67,0	16,7	67,0
9:00	204,3	19,4	67,0	19,8	67,0	19,3	67,0
10:00	275,5	19,9	64,0	22,4	64,0	20,8	64,0
11:00	301,2	22,4	57,0	26,0	57,0	23,8	57,0
12:00	343,2	22,8	53,0	27,7	53,0	24,8	53,0
13:00	497,5	24,3	46,0	29,4	46,0	26,4	46,0
14:00	669,7	29,0	39,0	33,8	39,0	31,2	39,0
15:00	404,3	24,5	38,0	27,1	38,0	25,4	38,0
16:00	256,4	19,3	42,0	22,5	42,0	20,6	42,0
17:00	134,3	18,9	46,0	20,6	46,0	19,4	46,0
18:00	53,1	16,8	47,0	19,2	47,0	17,7	47,0
19:00	0,0	16,2	51,0	17,8	51,0	16,7	51,0
20:00	0,0	15,2	55,0	17,3	55,0	16,0	55,0
21:00	0,0	14,9	58,0	17,1	58,0	15,8	58,0
22:00	0,0	14,5	61,0	16,3	61,0	15,2	61,0
23:00	0,0	14,2	60,0	16,0	60,0	14,9	60,0
Promedio	153,2	17,5	55,0	19,7	55,0	18,3	55,0
Máximo	204,3	29,0	67,0	32,0	67,0	31,2	67,0
Mínimo	0,0	12,3	38,0	13,2	38,0	12,6	38,0
Δ	204,3	16,7	29,0	16,6	29,0	16,7	29,0

Fuente: Autor.

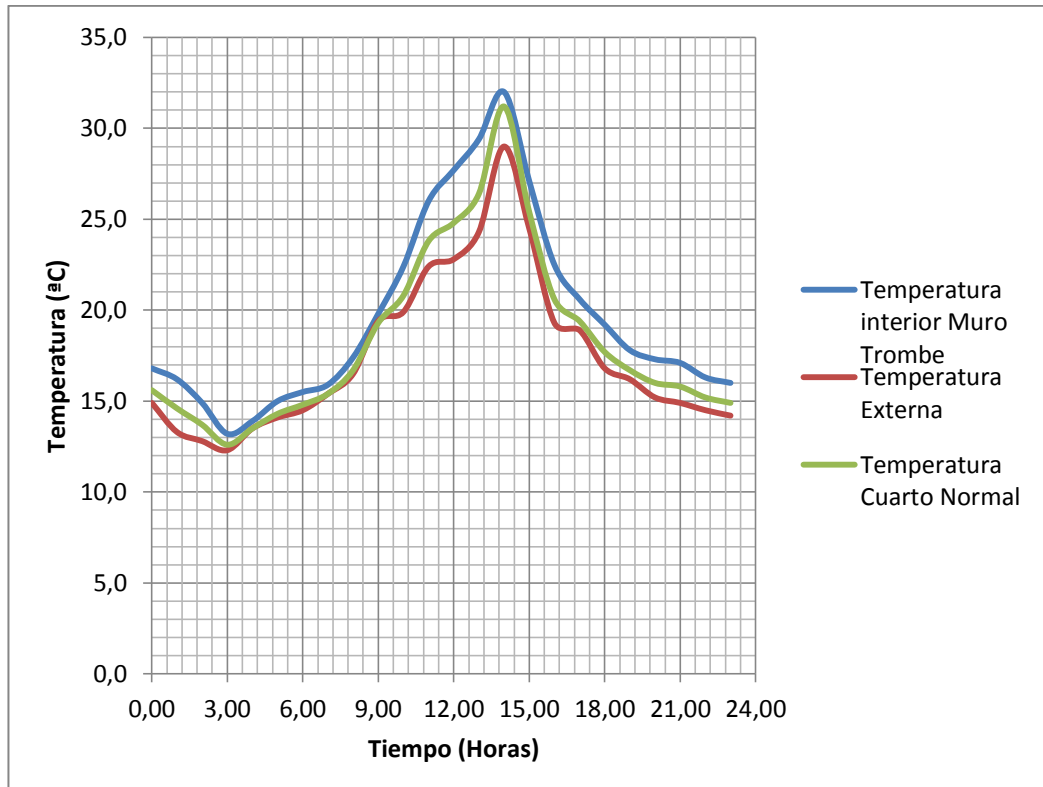


Figura 4.4: Temperaturas del día 06/11/2014. Máxima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 2.

Fuente: Autor.

La prueba nos arrojó que el día jueves, 6 de noviembre, se registró la mayor temperatura ambiental siendo esta 29 °C a las 14:00 horas, esta origina que en el interior de la habitación que contiene el muro Trombe se genere una temperatura de 33,8 °C, y una temperatura en la habitación normal de 31,2 °C. Siendo a su vez estas dos temperaturas las máximas de las dos habitaciones, coincidiendo las tres temperaturas máximas en la misma hora.

Comparando las variaciones entre la habitación con muro Trombe y la habitación normal, se tiene que la mayor variación de temperatura se produce a las 13:00 horas con un diferencial de 3 °C, la menor diferencia se produce a las a las 04:00 horas con un diferencial de 0,4 °C. Teniéndose un promedio entre las variaciones de las dos habitaciones de 1,4 °C, a favor del muro Trombe con la configuración de la prueba N° 2. La humedad relativa no presenta una variación significativa entre las dos habitaciones.

Tabla N° 4.5: Valores de temperaturas correspondientes al día 14/11/2014 siendo la temperatura ambiental mínima registrada en el periodo de prueba N° 2.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Fecha	viernes, 14 de noviembre de 2014						
	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=aire		Habitación Normal	
Tiempo (HORAS)	Radiación (w/m2)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
0:00	0,0	11,5	44,0	13,0	44,0	12,4	44,0
1:00	0,0	11,3	45,0	12,4	45,0	11,9	45,0
2:00	0,0	10,8	46,0	12,0	46,0	11,1	46,0
3:00	0,0	8,5	44,0	11,4	44,0	9,0	44,0
4:00	0,0	8,6	44,0	11,2	44,0	9,1	44,0
5:00	0,0	9,0	47,0	9,8	47,0	9,2	47,0
6:00	0,0	9,2	48,0	10,0	48,0	9,3	48,0
7:00	45,9	12,3	51,0	12,4	51,0	11,2	51,0
8:00	106,4	18,6	52,0	17,0	52,0	17,8	52,0
9:00	196,5	18,8	48,0	21,8	48,0	20,3	48,0
10:00	224,3	22,8	40,0	28,2	40,0	25,5	40,0
11:00	305,8	24,4	36,0	29,4	36,0	26,9	36,0
12:00	365,4	25,7	54,0	31,0	54,0	28,4	54,0
13:00	503,2	27,6	34,0	32,3	34,0	30,0	34,0
14:00	402,3	25,9	28,0	32,7	28,0	29,3	28,0
15:00	386,5	26,7	26,0	29,6	26,0	28,2	26,0
16:00	298,6	24,0	25,0	27,2	25,0	25,6	25,0
17:00	134,5	22,1	26,0	25,0	26,0	23,6	26,0
18:00	57,9	19,0	28,0	20,5	28,0	19,8	28,0
19:00	0,0	17,4	30,0	18,3	30,0	17,9	30,0
20:00	0,0	15,3	31,0	17,0	31,0	16,2	31,0
21:00	0,0	14,9	33,0	16,3	33,0	15,0	33,0
22:00	0,0	14,0	34,0	15,2	34,0	14,2	34,0
23:00	0,0	13,4	35,0	14,9	35,0	14,0	35,0
Promedio	252,3	17,2	38,7	19,5	38,7	18,2	38,7
Máximo	503,2	27,6	54,0	32,7	54,0	30,0	54,0
Mínimo	0,0	8,5	25,0	9,8	25,0	9,0	25,0
Δ	503,2	19,1	29,0	22,9	29,0	21,0	29,0

Fuente: Autor.

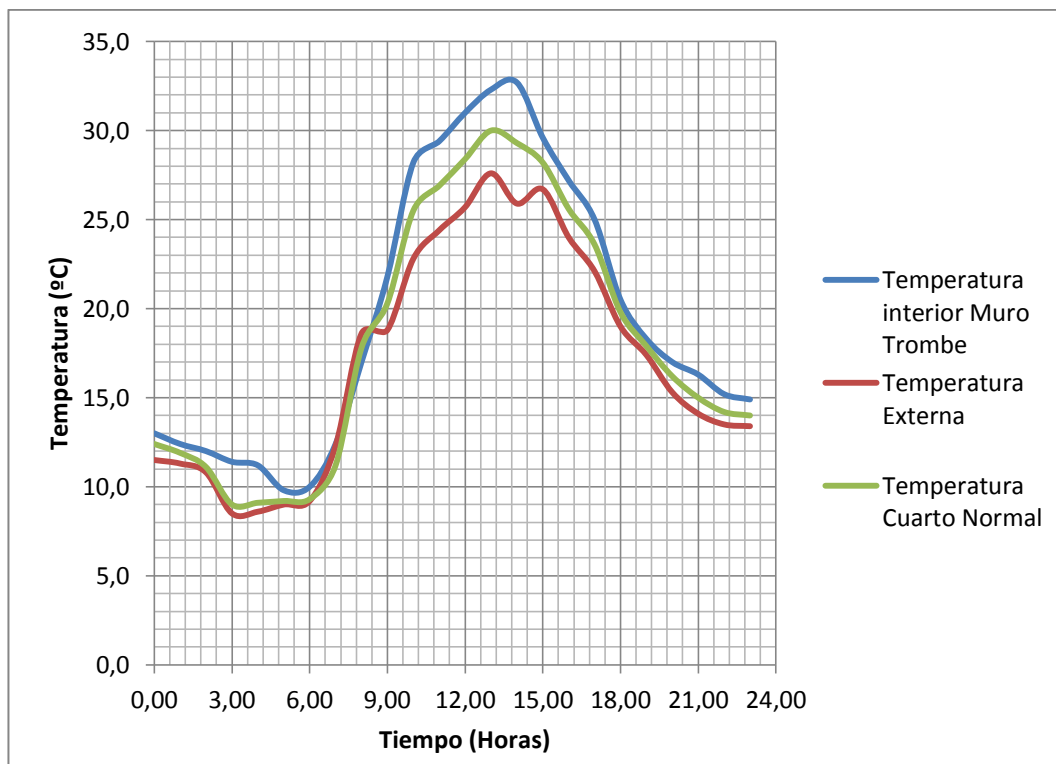


Figura 4.5: Temperaturas del día 14/11/2014. Mínima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 2.

Fuente: Autor.

La prueba del día viernes 14 de noviembre de 2014, en el que se registró la temperatura ambiental mínima de la prueba N° 2 teniéndose una temperatura de 8,5 °C a las 03:00 horas, esto provocó en la habitación con muro Trombe alcance una temperatura de 11,4 °C y en la habitación normal una temperatura de 9 °C. A su vez las temperaturas mínimas que se originan en la habitación con muro Trombe y habitación normal son de 9,8 °C a las 5:00 horas y de 9 °C a las 03:00 horas, respectivamente.

Como máxima variación entre las temperaturas de las dos habitaciones, tenemos un gradiente de 3,4 °C que ocurre a las 14:00 horas, mientras que la mínima variación fue de -0,8 °C a las 08:00 horas.

El promedio de variaciones de las dos habitaciones fue de 1,4 °C a favor del muro Trombe, como se puede observar en la gráfica. La humedad es normal, no se registra cambios bruscos entre las dos habitaciones en estudio.

Temperaturas en todas las horas de la prueba N°2

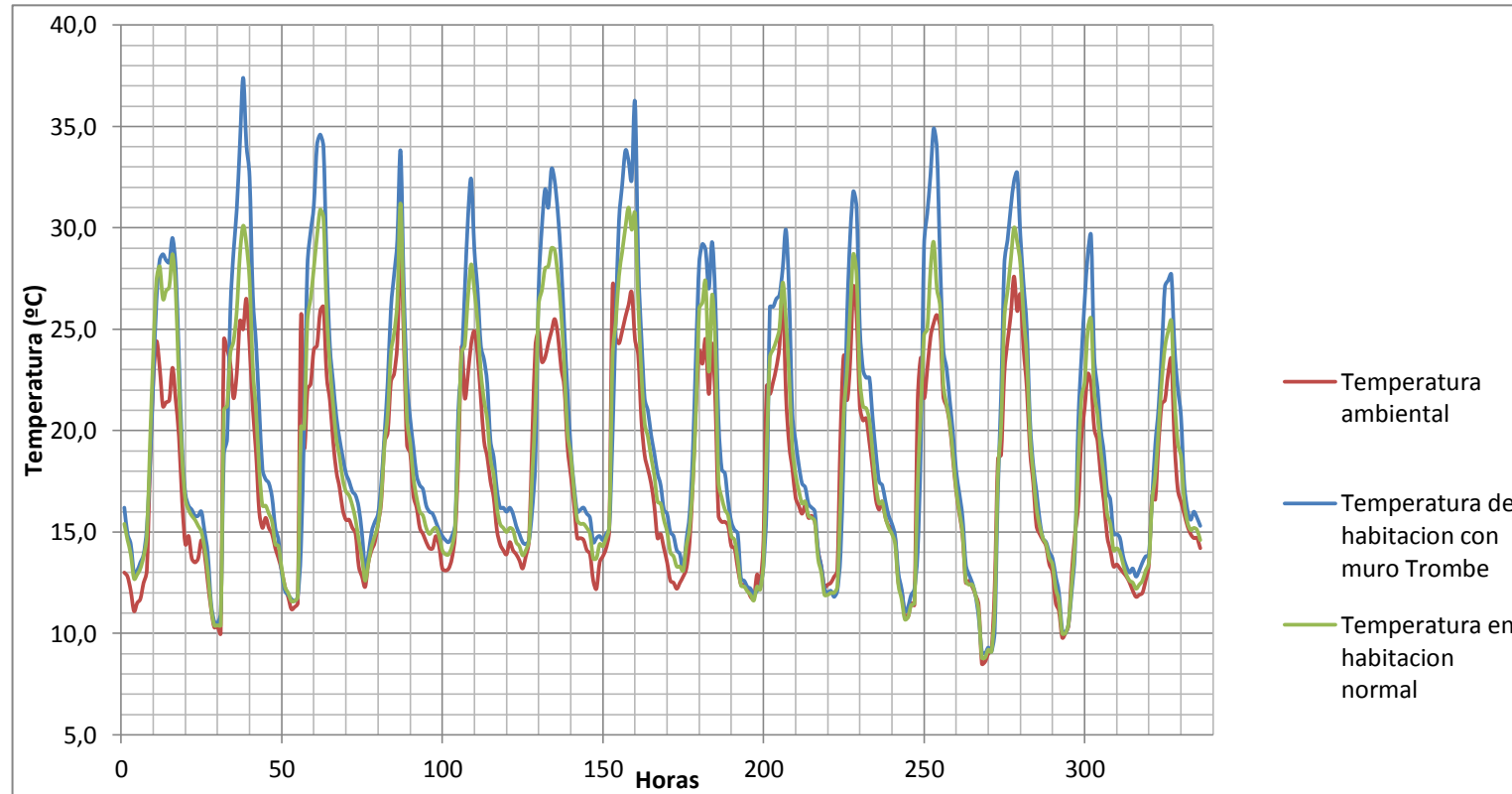


Figura 4. 6: Temperaturas de prueba N° 2

Fuente: Autor.

4.1.3 PRUEBA N°3

Tabla N° 4.6: Valores de temperaturas correspondientes al día 21/11/2014 siendo la temperatura ambiental máxima registrada en el periodo de prueba N° 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Fecha	viernes, 21 de noviembre de 2014						
	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=agua		Habitación Normal	
Tiempo (HORAS)	Radiación (w/m²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
0:00	0,0	11,6	55,0	14,0	79,0	12,1	55,0
1:00	0,0	11,6	60,0	13,9	80,0	12,1	60,0
2:00	0,0	11,4	65,0	13,6	81,0	11,8	65,0
3:00	0,0	11,0	65,0	13,5	81,0	11,6	65,0
4:00	0,0	10,9	65,0	13,2	80,0	11,4	65,0
5:00	0,0	12,1	70,0	13,4	79,0	12,1	70,0
6:00	0,0	11,6	90,0	13,6	83,0	11,9	90,0
7:00	77,6	13,8	91,0	14,6	79,0	13,9	91,0
8:00	108,9	21,4	94,0	17,7	80,0	18,7	94,0
9:00	198,6	21,0	75,0	27,4	80,0	22,8	75,0
10:00	289,7	21,6	70,0	27,4	78,0	23,1	70,0
11:00	250,8	22,3	68,0	27,8	80,0	23,7	68,0
12:00	345,7	23,4	61,0	28,0	78,0	25,0	61,0
13:00	534,7	26,1	59,0	30,8	78,0	27,3	59,0
14:00	328,5	21,0	52,0	31,2	77,0	24,5	52,0
15:00	267,9	18,5	60,0	28,0	76,0	21,9	60,0
16:00	145,6	17,3	63,0	22,1	75,0	18,6	63,0
17:00	88,9	15,9	66,0	20,8	74,0	17,3	66,0
18:00	23,7	15,5	69,0	19,6	73,0	16,6	69,0
19:00	0,0	15,1	72,0	18,4	75,0	16,4	72,0
20:00	0,0	15,5	74,0	17,2	76,0	16,0	74,0
21:00	0,0	14,9	74,0	17,0	77,0	15,8	74,0
22:00	0,0	15,0	78,0	16,9	78,0	15,7	78,0
23:00	0,0	14,3	81,0	16,0	78,0	14,9	81,0
Promedio	221,7	16,4	69,9	19,8	78,1	17,3	69,9
Máximo	534,7	26,1	94,0	31,2	83,0	27,3	94,0
Mínimo	0,0	10,9	52,0	13,2	73,0	11,4	52,0
Δ	534,7	15,2	42,0	18,0	10,0	15,9	42,0

Fuente: Autor

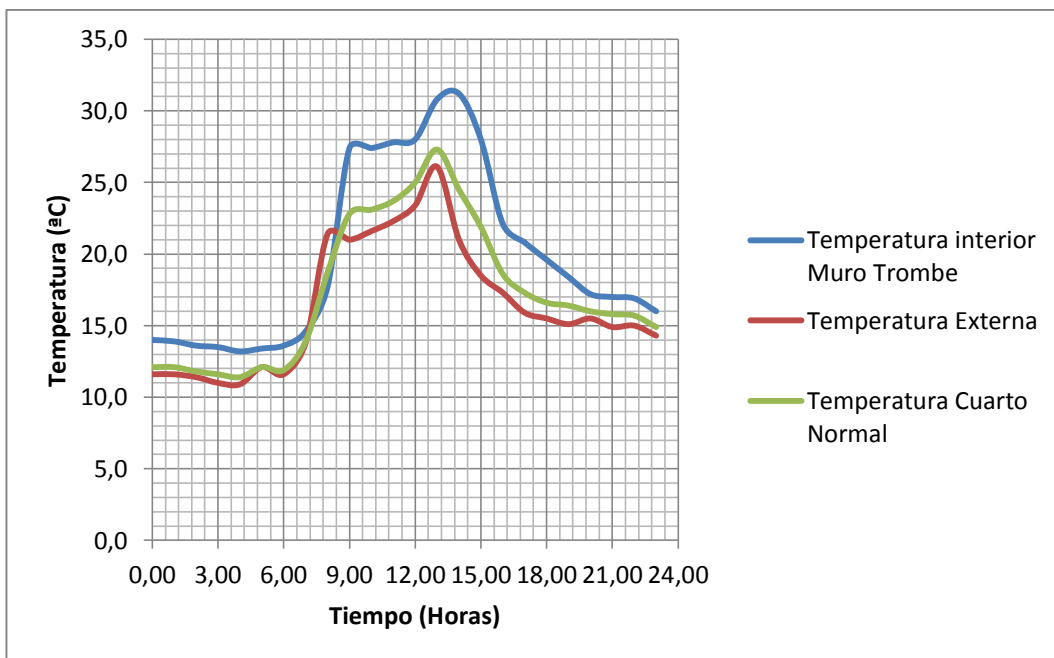


Figura 4.7: Temperaturas del día 21/11/2014. Máxima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 3.

Fuente: Autor.

La prueba del día viernes 21 de noviembre de 2014, se registró la temperatura ambiental máxima de la prueba N° 3 teniéndose 26,1°C a las 13:00 horas, esto provocó una temperatura en la habitación con muro Trombe de 30,8 °C y en la habitación una temperatura de 27,3 °C. A su vez las temperaturas máximas que se originan en la habitación con muro Trombe y habitación normal son de 31,2 °C a las 14:00 y de 27,3 °C a las 13:00 respectivamente.

Existe una notable diferencia entre el muro Trombe y la habitación normal, teniéndose un promedio en la variación de mencionadas temperaturas de 2,5 °C, siendo la máxima variación de 4,6 °C a las 9:00 horas y la mínima variación de -1 °C a las 08:00 horas, todas las variaciones mencionadas son a favor del muro Trombe, se notó un ambiente húmedo en la habitación del muro Trombe, llegándose a una humedad de 95%, con una variación promedio de 11,3 % de humedad a favor de la habitación con muro Trombe.

Tabla N° 4.7: Valores de temperaturas correspondientes al día 25/11/2014 siendo la temperatura ambiental mínima registrada en el periodo de prueba N° 3.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Fecha	martes, 25 de noviembre de 2014						
	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=agua		Habitación Normal	
Tiempo (HORAS)	Radiación (w/m²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
0:00	0,0	12,1	52,0	14,0	79,0	13,1	52,0
1:00	0,0	11,9	53,0	13,0	80,0	12,3	53,0
2:00	0,0	10,8	55,0	11,9	81,0	11,2	55,0
3:00	0,0	9,8	55,0	11,4	81,0	10,5	55,0
4:00	0,0	9,4	58,0	10,8	80,0	10,4	58,0
5:00	0,0	9,2	60,0	10,1	79,0	10,0	61,0
6:00	0,0	9,0	61,0	9,9	83,0	9,3	61,0
7:00	12,7	14,0	64,0	14,6	82,0	15,0	64,0
8:00	97,5	18,8	63,0	17,6	80,0	21,2	63,0
9:00	176,4	20,8	54,0	23,9	80,0	23,8	54,0
10:00	159,6	19,1	47,0	26,8	81,0	24,4	47,0
11:00	247,4	20,3	43,0	28,9	80,0	25,9	43,0
12:00	378,7	22,9	39,0	34,0	78,0	28,7	39,0
13:00	412,3	22,5	34,0	35,0	78,0	30,1	34,0
14:00	498,7	24,0	32,0	32,1	77,0	29,2	32,0
15:00	249,2	21,7	28,0	30,5	76,0	27,4	28,0
16:00	187,4	18,6	32,0	26,0	80,0	23,1	34,0
17:00	70,6	16,4	33,0	24,0	74,0	21,0	33,0
18:00	35,7	14,5	38,0	22,0	73,0	18,1	38,0
19:00	0,0	14,1	44,0	18,2	75,0	15,3	45,0
20:00	0,0	13,9	49,0	16,6	76,0	14,9	49,0
21:00	0,0	13,3	53,0	15,4	77,0	14,5	53,0
22:00	0,0	13,1	54,0	14,9	78,0	14,0	54,0
23:00	0,0	12,9	57,0	14,5	78,0	13,5	57,0
Promedio	210,5	15,5	48,3	19,8	80,5	18,2	48,4
Máximo	498,7	24,0	64,0	35,0	83,0	30,1	64,0
Mínimo	0,0	9,0	28,0	9,9	73,0	9,3	28,0
Δ	498,7	15,0	36,0	25,1	10,0	20,8	36,0

Fuente: Autor

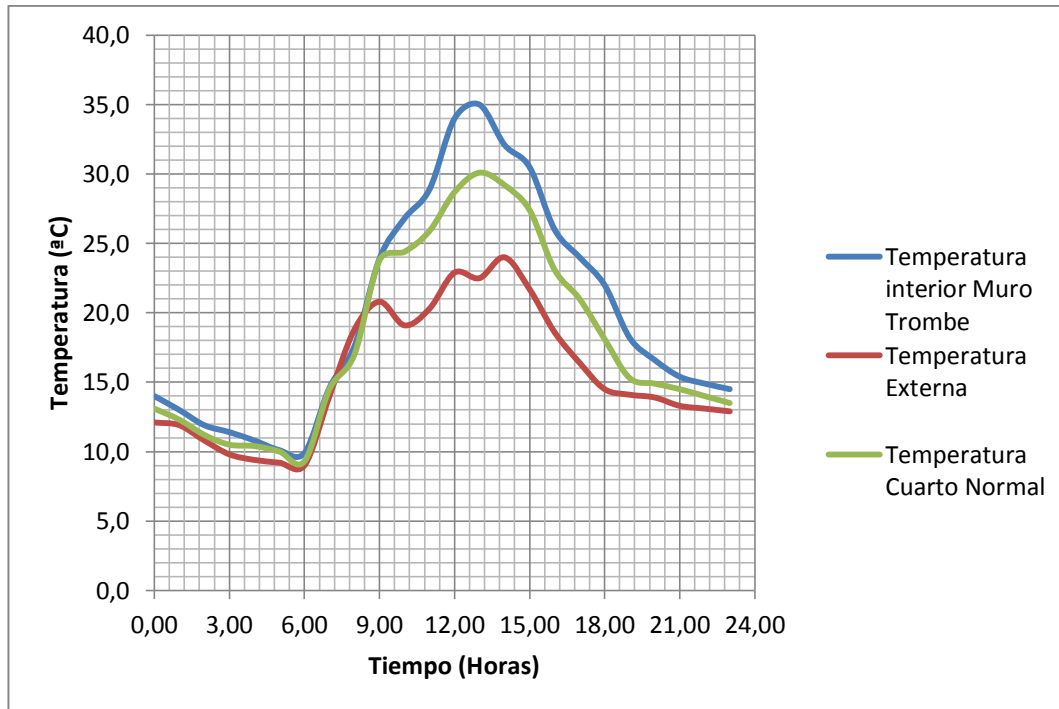


Figura 4.8: Temperaturas del día 25/11/2014. Mínima temperatura ambiental del periodo de prueba N° 3

Fuente: Autor

En el día martes 25 de noviembre de 2014, se registró una temperatura de 9 °C a las 06:00 horas que corresponde a la menor temperatura ambiental registrada durante el lapso de la prueba N°3, provocando una temperatura de 9,9 °C en la habitación con muro Trombe, y en la habitación normal una temperatura de 9,3 °C. Siendo estas dos últimas temperaturas las menores registradas a su vez en las dos habitaciones en la hora señalada. Observándose un mejor comportamiento en la habitación con muro Trombe.

La variación máxima de temperatura entre las dos habitaciones es de 5,3 °C a las 12:00 horas, a las 09:00 horas a su vez se registró la menor diferencia entre las dos temperaturas de las habitaciones con 0,1 °C, como variación promedio de temperatura entre las dos habitaciones en este día tenemos 1,8 °C, indicándose que en esta medición también existió un considerable aumento de la humedad, notándose un ambiente húmedo.

Temperaturas en todas las horas de la prueba N°3

65

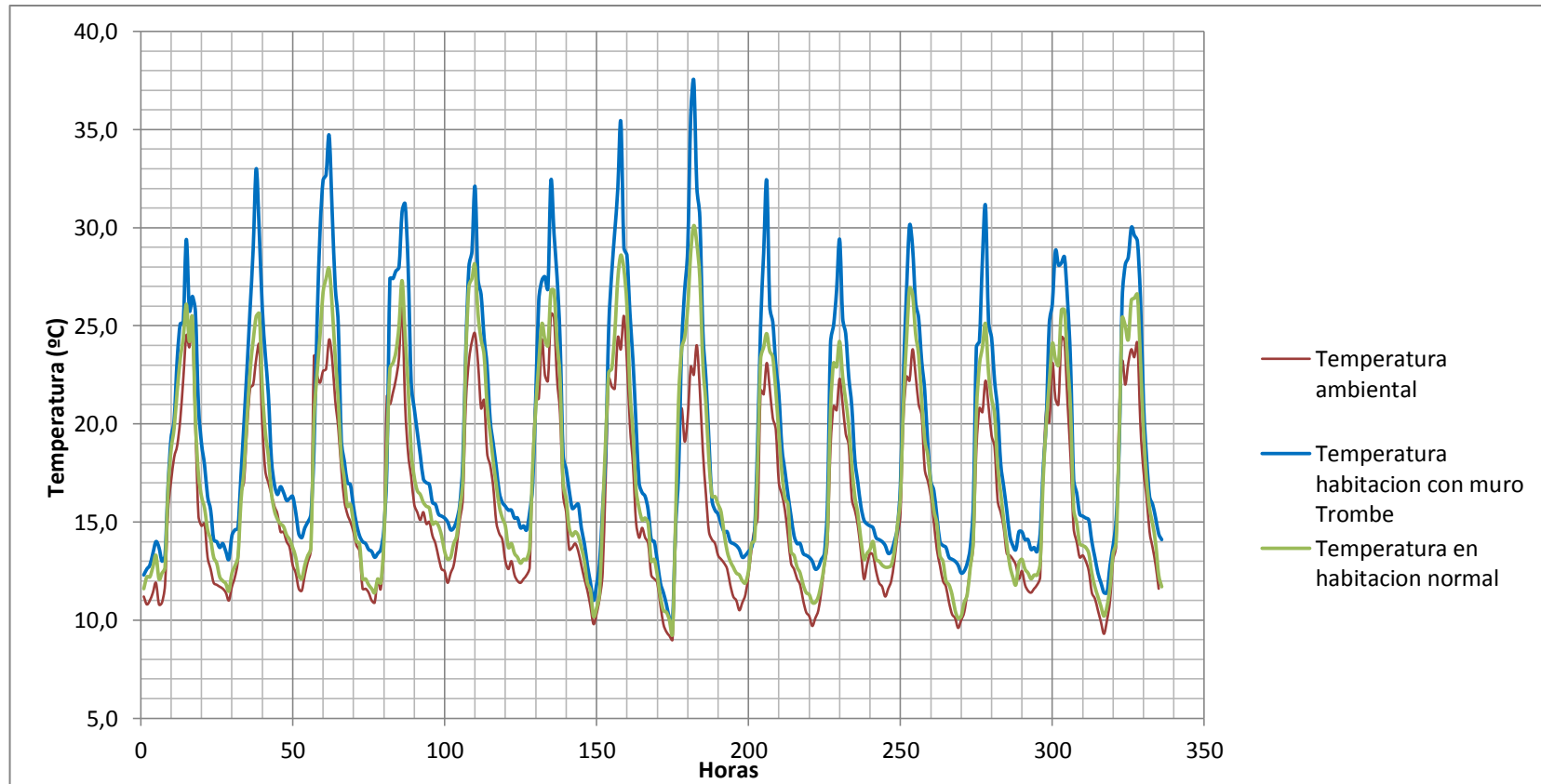


Figura 4.9: Temperaturas de prueba N° 3

Fuente: Autor

4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Se graficaron las curvas en simultaneo de cada sitio de los días que se presentaron las temperaturas máximas y mínimas para las tres pruebas.

4.2.1 Temperaturas promedio, máximas y mínimas de la prueba N° 1

Una vez que se obtuvieron los datos de temperatura y humedad de las pruebas, se procedió a tomar las temperaturas máximas y mínimas, en las tres áreas de medición (habitación con muro Trombe, habitación normal y ambiental)

Tabla N° 4.8: Días en lo que se registraron temperaturas ambientales máximas y mínimas en el medio ambiente de prueba N° 1.

	Parámetros ambientales				Muro Trombe Canal de aire=5 cm Medio convectivo=aire	
	Día	Radiac. (W/m ²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Máximo	25/10/2014	789,8	29,7	60,0	26,3	61,0
Mínimo	24/10/2014	0	8,5	28	9,3	28

Fuente: Autor.

Tabla N° 4.9: Comparación de mediciones (máximas y mínimas) en habitación con muro Trombe y habitación normal a lo largo de prueba N° 1.

	Muro Trombe Canal de aire=5 cm Medio convectivo=aire		Habitación normal	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Ptomedio	19,5	54,2	18,6	53,8
Máximo	34,1	61,0	31,0	60,0
Mínimo	9,3	28	8,9	28

Fuente: Autor.

Como el estudio se enfocó a evaluar la variación de la temperatura al implantarse el muro Trombe se procede a graficar solo los parámetros de temperatura, con el afán de reducir al máximo el número de gráficas que pudieron entorpecer el análisis de resultados, con esto obtuvimos una mejor visualización de los datos recopilados. Habiéndose graficado las siguientes:

- **Temperaturas máximas y mínimas de prueba N° 1**

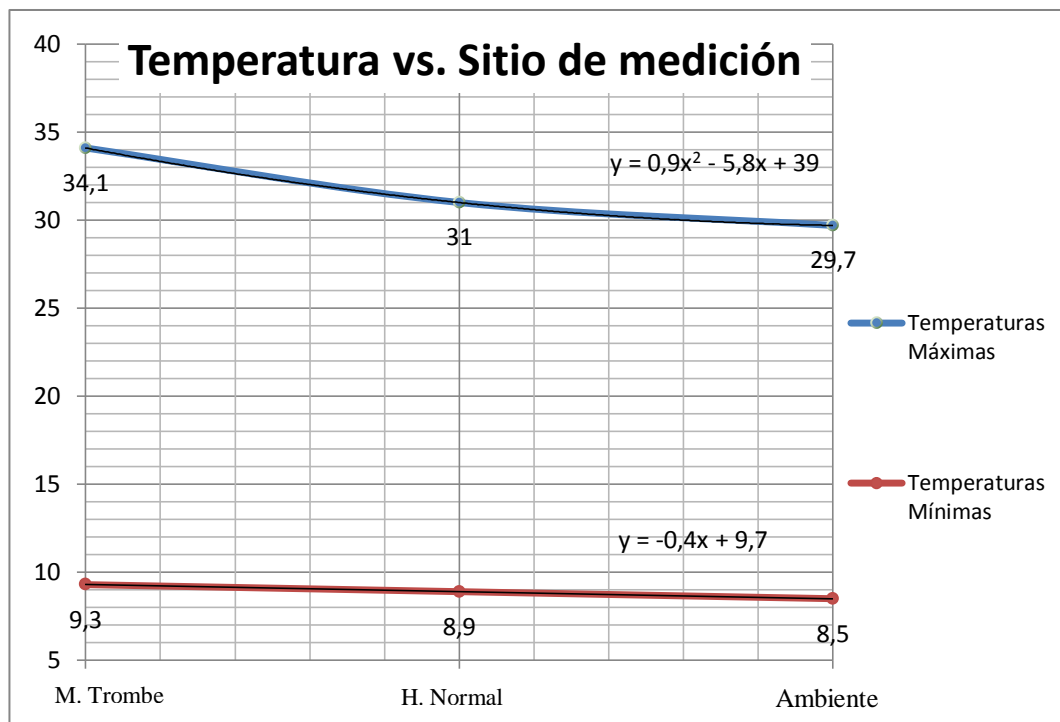


Figura 4.10: Temperaturas críticas en el periodo de prueba N° 1.

Fuente: Autor.

Observando la Figura 4.10 observamos que la variación de temperaturas en el interior de la habitación con muro Trombe es de 24,8 °C, la variación de temperaturas existente en la habitación normal es de 22,1 °C, y en el ambiente es de 21,2 °C, así mismo al observar las curvas de las temperaturas podemos decir que estas varían de manera decreciente con respecto al sitio de medición.

Al realizar un análisis de las temperaturas mínimas registradas podemos decir que estas tienen más una tendencia lineal al notarse una pendiente casi igual a cero, registrándose tan solo 0,4 °C de diferencia en las dos habitaciones.

Las temperaturas máximas tienen una tendencia polinómica, notándose una pendiente negativa existiendo variación de temperatura de 3,1 °C entre las dos habitaciones.

A continuación en la Tabla N° 4.10, se muestra los valores de las temperaturas promedio de las temperaturas de los 14 días de la prueba N°1, la misma nos brinda una perspectiva de la variación que existió entre las mediciones realizadas entre las dos habitaciones, siendo esta de 1 °C comparándose con la temperatura promedio de la prueba N°1.

Tabla N° 4.10: Valores de temperaturas promedio diarios correspondientes al periodo 20/10/2014-02/11/2014 de la prueba N°1

Día	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=5 cm Medio convectivo=aire		Habitación Normal	
	Radiación (w/m2)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
1	290,8	17,7	42,8	20,1	42,5	19,0	41,7
2	320,3	17,0	53,0	19,3	53,8	17,5	41,7
3	287,3	17,8	49,5	19,9	49,6	18,5	41,7
4	281,8	16,3	65,7	17,6	65,3	16,6	65,5
5	288,4	17,1	57,0	19,3	55,9	18,1	56,1
6	310,7	18,1	55,0	19,5	54,6	18,6	55,0
7	291,9	16,2	56,0	17,4	55,9	16,8	55,7
8	270,7	17,6	57,3	19,1	57,3	17,8	57,3
9	220,3	16,9	57,3	19,1	57,1	17,7	57,2
10	193,8	17,3	57,9	19,7	58,0	18,6	57,9
11	170,3	17,7	51,8	19,7	52,5	19,4	52,6
12	275,3	17,9	42,9	20,9	42,9	18,7	42,9
13	249,3	18,5	45,6	20,9	45,6	19,6	45,6
14	283,5	17,7	51,8	19,7	52,5	19,4	52,6
Prom.	266,8	17,6	54,0	19,6	54,2	18,6	53,8

Fuente: Autor.

- **Histograma de temperatura ambiental de prueba N°1**

Mediante un histograma de frecuencias se pretende determinar la cantidad de veces que se tendría las temperaturas críticas que se eligió para realizar la evaluación y comparación de las dos habitaciones. Por lo que en las Tablas 4.11,

4.12 y 4.13 se determina el porcentaje acumulado y la frecuencia con la que se repetirá más veces una dicha temperatura.

Tabla N° 4.11: Frecuencias de temperaturas ambientales correspondientes a la prueba N°1

Clase(°C)	Frecuencia	%acumulado	Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado
8,5	2	0,60%	15,6	86	25,60%
10,9	12	4,17%	13,2	65	44,94%
13,2	65	23,51%	25,0	48	59,23%
15,6	86	49,11%	17,9	36	69,94%
17,9	36	59,82%	22,6	33	79,76%
20,3	29	68,45%	20,3	29	88,39%
22,6	33	78,27%	27,3	22	94,94%
25,0	48	92,56%	10,9	12	98,51%
27,3	22	99,11%	29,8	3	99,40%
29,8	3	100,00%	8,5	2	100,00%

Fuente: Autor.

La tabla 4.11 nos indica que el valor crítico de 8,5 °C como valor mínimo de la prueba tan solo ocurrió dos veces en el total de las dimensiones y el valor máximo de 29,8 °C ocurrió 3 veces en el total de las mismas., el valor que más se repite es de 15,6 °C, con una frecuencia de 86 veces y 13,2 °C con una frecuencia de 65 veces.

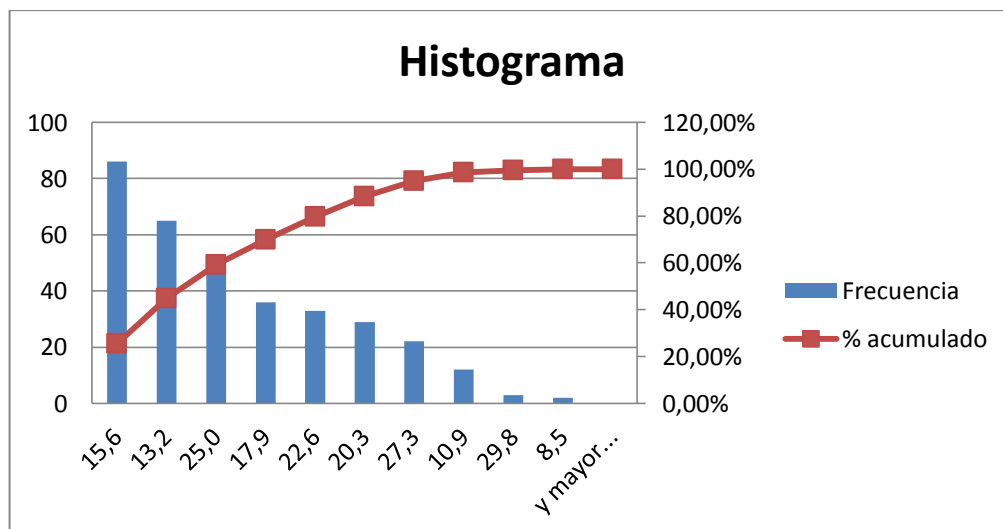


Figura 4. 11: Histograma de temperatura ambiental de prueba N° 1.

Fuente: Autor.

- **Histograma de temperatura de habitación con muro Trombe de prueba N°1**

Tabla N° 4.12: Frecuencias de temperaturas del muro Trombe correspondientes a la prueba N°1.

Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado	Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado
9,3	1	0,30%	17,6	95	28,27%
12,1	16	5,06%	14,8	62	46,73%
14,8	71	26,19%	20,3	41	58,93%
17,6	88	52,38%	28,6	36	69,64%
20,3	44	65,48%	31,3	33	79,46%
23,1	17	70,54%	25,8	25	86,90%
25,8	24	77,68%	23,1	23	93,75%
28,6	37	88,69%	12,1	14	97,92%
31,3	29	97,32%	31,6	6	99,70%
31,6	9	97,62%	9,3	1	100,00%

Fuente: Autor.

La tabla 4.12 nos muestra que 9,3°C solo se alcanzó por una sola vez en el interior de la habitación con el muro Trombe, mientras que las temperaturas con mayor número de frecuencia alcanzadas son las de 17,6 ° C y 14,8 ° C, siendo algo favorable para nuestra configuración de muro Trombe.

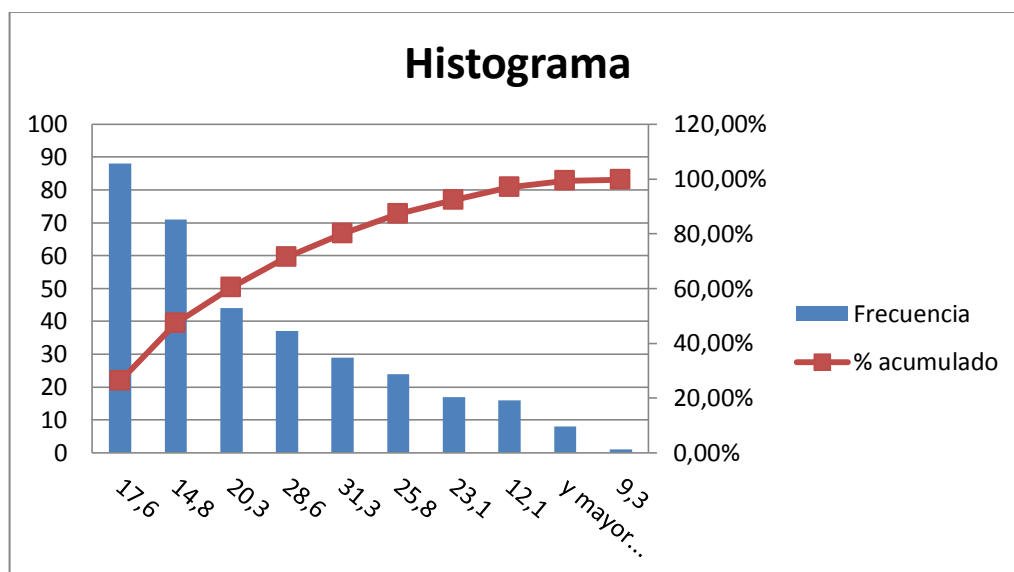


Figura 4. 12: Histograma de temperaturas de habitación normal de prueba N° 1.

Fuente: Autor.

- **Histograma de temperatura de habitación normal de prueba N°1**

Tabla N° 4.13: Histogramas de temperaturas de habitación normal correspondientes a la prueba N°1

Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
8,9	1	0,30 %	16,3	95	28,27 %
11,4	14	4,46 %	13,8	62	46,73 %
13,8	62	22,92 %	28,5	41	58,93 %
16,3	95	51,19 %	18,7	36	69,64 %
18,7	36	61,90 %	26,1	33	79,46 %
21,2	23	68,75 %	23,6	25	86,90 %
23,6	25	76,19 %	21,2	23	93,75 %
26,1	33	86,01 %	11,4	14	97,92 %
28,5	41	98,21 %	8,9	1	100,00 %
28,8	0	98,21 %	28,8	0	100,00 %

Fuente: Autor.

La Tabla 4.13 nos muestra que 8,9 °C solo se alcanzó por una sola vez en el interior de la habitación normal, mientras que las temperaturas con mayor número de frecuencia alcanzadas son las de 16,3 °C y 13,8 °C, temperaturas que si se compara con la tabla 4.10 son menores a las del muro Trombe.

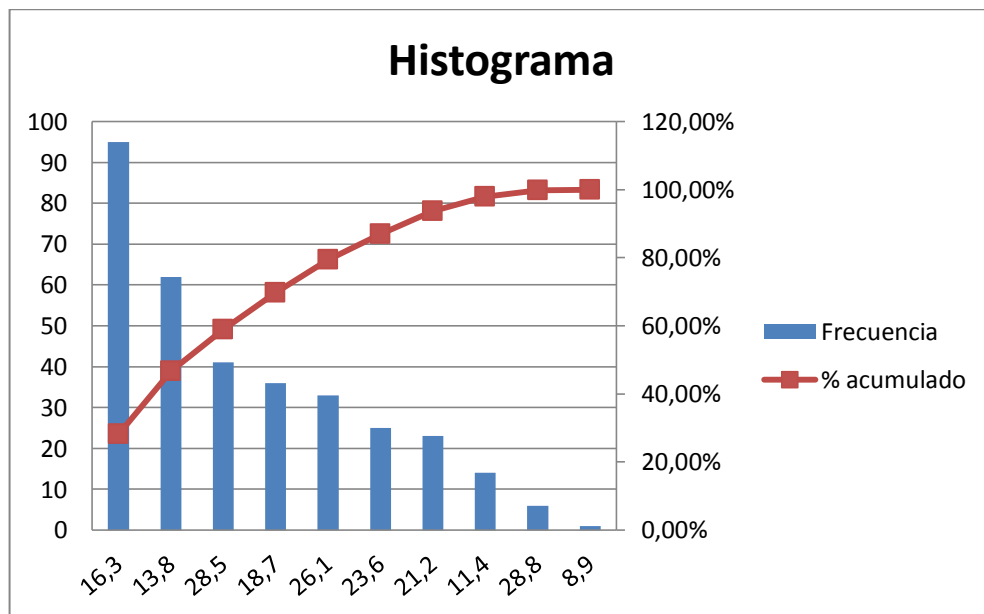


Figura 4. 13: Histograma de temperaturas de habitación con muro Trombe de prueba N° 1.

Fuente: Autor

4.2.2 Temperaturas promedio, máximas y mínimas de la prueba N° 2

Se realizó el mismo análisis de la prueba N° 1, determinándose como puntos de análisis la máxima y mínima temperatura ambiental, anotándose conjuntamente las temperaturas que se obtienen en los dos sitios de medición, y posteriormente realizándose una comparación entre estos dos sitios para obtener una mejor interpretación de resultados.

Tabla N° 4.14: Días en lo que se registraron temperaturas ambientales máximas y mínimas junto a las temperaturas de habitación con muro Trombe de prueba N° 2.

	Parámetros ambientales				Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=aire	
	Día	Radiac. (w/m ²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Máximo	06/11/2014	628,3	29,0	64,0	32	64,0
Mínimo	14/11/2014	0,0	8,5	25,0	9,8	25,0

Fuente: Autor.

Tabla N° 4.15: Comparación de mediciones (promedio, máximas y mínimas) en habitación con muro Trombe y habitación normal a lo largo de prueba N° 2.

	Habitación normal		Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=aire	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Promedio	18,3	48,8	17,6	48,7
Máximo	31,2	64,0	32	64,0
Mínimo	9	25,0	8,5	25,0

Fuente: Autor.

- **Temperaturas máximas y mínimas de prueba N° 2**

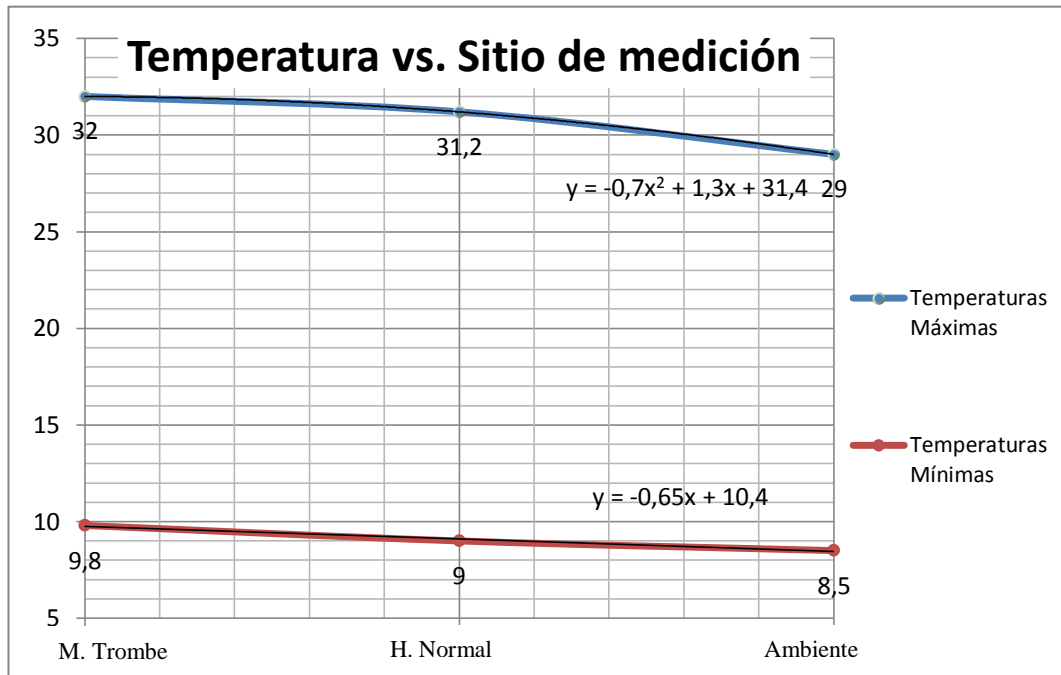


Figura 4.14: Temperaturas mínimas en el periodo de prueba N° 2.

Fuente: Autor.

Observando la Figura 4.14 observamos que las temperaturas obtenidas en la habitación con muro Trombe oscilan entre los rangos de 9,8 °C a 32°C, en el interior de la habitación normal oscila entre los rangos de 9 °C a los 31,2 °C y en el ambiente exterior oscila entre los 8,5 °C a los 29 °C.

Al realizar un análisis de las temperaturas mínimas registradas podemos decir que estas tienen más una tendencia lineal notándose una pendiente en la recta con diferencia a la prueba N°1, registrándose 1,3 °C de diferencia en las dos habitaciones, variando sus curvas de manera decreciente.

Las temperaturas máximas tienen una tendencia polinómica, notándose una pendiente negativa existiendo variación de temperatura de 0,8 °C entre las dos habitaciones.

A continuación en la Tabla N° 4.16, se muestra los valores de las temperaturas promedio de las temperaturas de la prueba N°1, la misma nos brinda una

perspectiva de la variación que existió entre las mediciones realizadas entre las dos habitaciones, siendo esta de 1,3 °C comparándose con la temperatura promedio de la prueba N°2.

Tabla N° 4.16: Valores de temperaturas promedio diarios correspondientes a la prueba N° 2

Día	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=aire		Habitación Normal	
	Radiación (w/m ²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
1	189,6	16,7	46,8	19,8	46,8	19,4	46,8
2	291,2	18,0	48,3	21,2	48,2	19,0	48,4
3	265,6	18,2	49,8	20,8	49,9	19,8	49,9
4	153,2	17,5	55,0	19,7	55,0	18,3	55,0
5	290,7	17,6	53,7	20,2	53,7	18,9	53,7
6	280,6	19,0	46,3	21,5	46,3	20,3	46,3
7	287,9	19,1	45,9	22,2	45,9	20,9	45,9
8	242,9	16,7	45,3	19,3	45,3	17,9	45,3
9	242,3	17,2	69,9	18,6	69,9	17,6	69,9
10	285,2	17,9	49,1	19,8	49,1	18,2	49,1
11	246,1	17,8	65,4	18,9	65,4	17,9	65,4
12	252,3	17,1	38,7	19,5	38,7	18,2	38,7
13	189,9	15,2	40,7	17,3	40,7	16,2	40,7
14	188,3	16,0	51,6	18,1	51,6	16,9	51,6
Prom.	259,5	17,6	48,7	19,7	48,7	18,4	48,8

Fuente: Autor

- **Histograma de temperatura ambiental de prueba N° 2**

Mediante un histograma de frecuencias se pretende determinar la cantidad de veces que se tendría las temperaturas críticas que se eligió para realizar la evaluación y comparación de las dos habitaciones. Por lo que en las Tablas 4.17, 4.18 y 4.19 se determina el porcentaje acumulado y la frecuencia con la que se repetirá más veces una dicha temperatura.

Tabla N° 4.17: Frecuencias de temperaturas ambientales correspondientes a la prueba N°2

Clase(°C)	Frecuencia	%acumulado	Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado
8,5	1	0,30%	15,3	87	25,89%
10,8	9	2,98%	13,1	58	43,15%
13,1	58	20,24%	24,4	44	56,25%
15,3	87	46,13%	17,6	41	68,45%
17,6	41	58,33%	22,2	33	78,27%
19,9	30	67,26%	19,9	30	87,20%
22,2	33	77,08%	26,7	27	95,24%
24,4	44	90,18%	10,8	9	97,92%
26,7	27	98,21%	29,0	6	99,70%
29,0	6	100,00%	8,5	1	100,00%

Fuente: Autor.

La tabla 4.17 nos indica que el valor crítico de 8,5 °C como valor mínimo de la prueba tan solo ocurrió 1 vez en el total de las dimensiones y el valor máximo de 29,0 °C ocurrió 6 veces en el total de las mismas., el valor que más se repite es de 15,3 °C, con una frecuencia de 87 veces y 13,1 °C con una frecuencia de 58 veces.

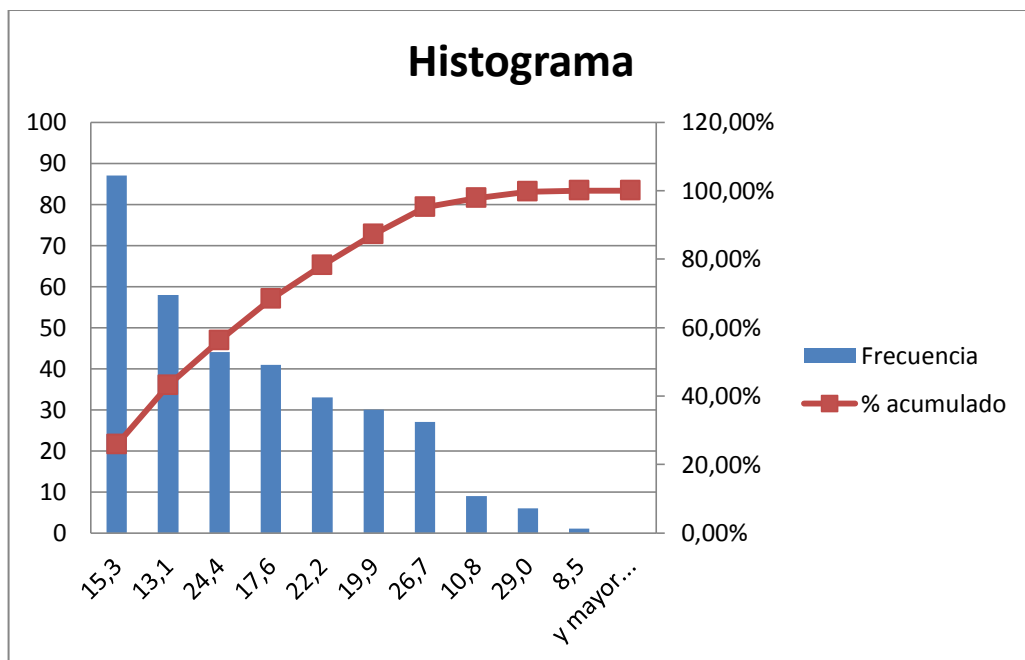


Figura 4. 15: Histograma de temperaturas ambientales de prueba N° 2.

Fuente: Autor.

- **Histograma de temperatura de habitación con muro Trombe de prueba N°2**

Tabla N° 4.18: Frecuencias de temperaturas del muro Trombe correspondientes a la prueba N°2.

Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado	Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado
9,8	2	0,60%	15,3	99	29,46%
12,2	29	9,23%	18,5	64	48,51%
15,3	99	38,69%	21,6	45	61,90%
18,5	64	57,74%	27,9	43	74,70%
21,6	45	71,13%	12,2	29	83,33%
24,8	28	79,46%	24,8	28	91,67%
27,9	43	92,26%	31,1	25	99,11%
31,1	25	99,70%	9,0	2	99,70%
34,2	1	100,00%	34,2	1	100,00%
37,4	0	100,00%	37,4	0	100,00%

Fuente: Autor.

La tabla 4.18 nos muestra que la temperatura crítica de 9,8 °C solo se alcanzó por dos veces en el interior de la habitación con el muro Trombe, mientras que las temperaturas con mayor número de frecuencia alcanzadas son las de 15,36 ° C y 18,5 °C, con frecuencias de 99 y 64 veces respectivamente. Siendo estas las temperaturas que con mayor frecuencia oscilan en el interior de la habitación.

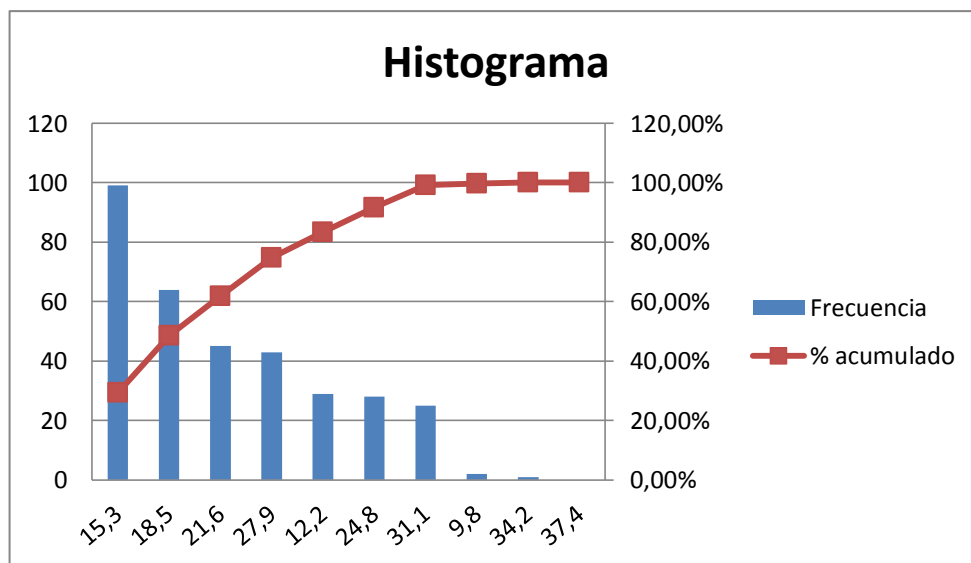


Figura 4. 16: Histograma de temperaturas ambientales de prueba N° 2.

Fuente: Autor.

- **Histograma de temperatura de habitación normal de prueba N°2**

Tabla N° 4.19: Frecuencias de temperaturas de habitación normal de prueba N° 2

Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
9,0	2	0,60 %	16,4	85	25,30 %
11,5	14	4,76 %	13,9	61	43,45 %
13,9	61	22,92 %	18,9	39	55,06 %
16,4	85	48,21 %	21,3	35	65,48 %
18,9	39	59,82 %	28,7	32	75,00 %
21,3	35	70,24 %	26,3	28	83,33 %
23,8	24	77,38 %	23,8	24	90,48 %
26,3	28	85,71 %	31,2	17	95,24 %
28,7	32	95,24 %	11,5	14	99,40 %
31,2	17	100,00 %	9,0	2	100,00 %

Fuente: Autor.

La Tabla 4.19 nos muestra que 9,0 °C solo se alcanzó por una sola vez en el interior de la habitación normal, mientras que las temperaturas con mayor número de frecuencia alcanzadas son las de 16,4 °C y 13,9 °C, con frecuencias de 85 y 61 veces, estas temperaturas comparándolas con la tabla 4.18 son menores a las del muro Trombe. Esto nos da una situación que existe un aumento de temperatura en la habitación que utiliza el muro Trombe como medio de calefacción soldar pasiva.

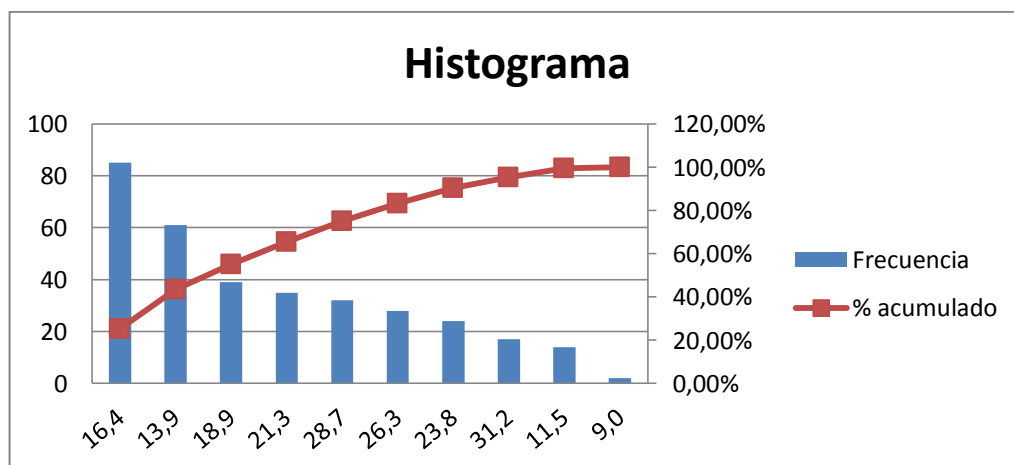


Figura 4. 17: Histograma de temperaturas ambientales de prueba N° 2.

Fuente: Autor.

4.2.3 Temperaturas promedio, máximas y mínimas de prueba N° 3

Observando las pruebas N° 1 y N° 2, se determinó tentativamente que la mejor configuración de las dos pruebas resulta ser la prueba N° 2 (en promedios generales la prueba N°2 tiene una mayor variación de temperatura y en frecuencia de temperaturas alcanzadas estas resultan ser más amplias), por lo que se utiliza la dimensión de 10 centímetros de longitud de colector de energía para la prueba N° 3, en la que se varió el medio convectivo, utilizándose agua en botellas apiladas en el interior de las dos paredes.

Tabla N° 4.20: Días en lo que se registraron temperaturas ambientales máximas y mínimas durante prueba N° 3.

	Parámetros ambientales				Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=agua	
	Día	Radiac. (w/m ²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Máximo	21/11/2014	534,7	26,1	59,0	31,2	75,0
Mínimo	25/11/2014	0,0	9,0	26,0	9,9	60,0

Fuente: Autor

Tabla N°4. 21: Comparación de mediciones (promedio, máximas y mínimas) en habitación con muro Trombe y habitación normal durante prueba N° 3.

	Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=agua		Habitación normal	
	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
Promedio	19,1	78,1	17,1	51,6
Máximo	31,2	92,0	27,3	65
Mínimo	9,9	60,0	9,3	26,0

Fuente: Autor

- **Temperaturas máximas y mínimas de prueba N° 3**

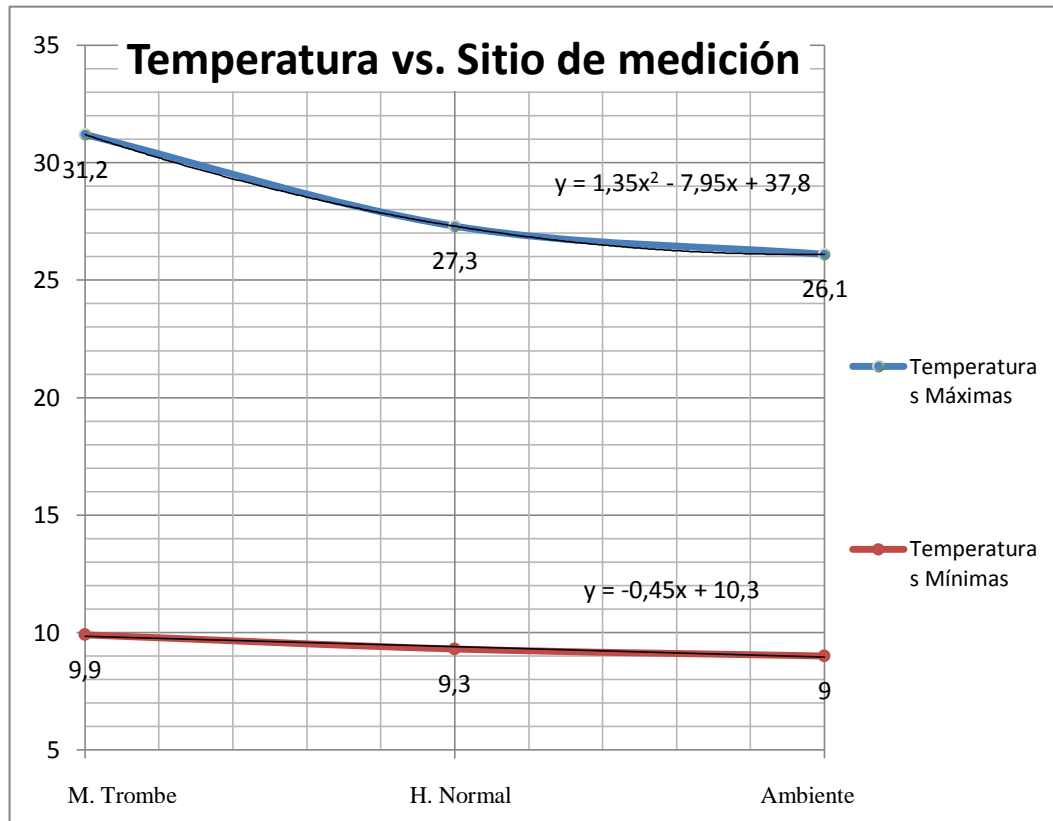


Figura 4.18: Temperaturas promedio en el periodo de prueba N° 3.

Fuente: Autor.

Observando la Figura 4.18 observamos que las temperaturas obtenidas en la habitación con muro Trombe oscilan entre los rangos de 9,9 °C a 31,2 °C, en el interior de la habitación normal oscila entre los rangos de 9,3 °C a los 27,3 °C y en el ambiente exterior oscila entre los 9 °C a los 26,1 °C.

Al realizar un análisis de las temperaturas mínimas registradas podemos decir que estas tienen más una tendencia lineal notándose una ligera pendiente en la recta, registrándose 0,6 °C de diferencia en las dos habitaciones, variando sus curvas de manera decreciente.

Las temperaturas máximas tienen una tendencia polinómica, notándose una pendiente negativa existiendo variación de temperatura de 3,9 °C entre las dos habitaciones.

A continuación en la Tabla N° 4.22, se muestra los valores de las temperaturas promedio de las temperaturas de la prueba N°3, la misma nos brinda una perspectiva de la variación que existió entre las mediciones realizadas entre las dos habitaciones, siendo esta de 1,8 °C comparándose con la temperatura promedio de la prueba N°3.

Tabla N° 4.22: Valores de temperaturas promedios diarios correspondientes a la prueba N°3

Día	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=agua		Habitación Normal	
	Radiación (w/m ²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
1	205,8	15,7	48,1	18,6	78,1	17,1	51,6
2	214,6	16,0	42,6	19,2	76,6	16,7	42,6
3	215,2	17,0	45,6	20,6	78,1	18,1	45,6
4	221,7	16,4	43,9	19,8	81,1	17,3	43,9
5	234,3	16,8	57,9	19,8	78,1	18,6	57,9
6	231,7	17,0	53,0	20,1	82,0	18,1	41,7
7	232,4	16,4	48,3	20,0	75,0	17,9	48,4
8	196,0	15,2	57,9	18,1	78,1	16,5	57,9
9	201,9	14,7	45,2	17,9	77,0	15,7	45,2
10	193,6	16,0	44,3	18,5	78,1	17,3	44,3
11	208,8	14,6	57,9	17,7	78,1	15,5	57,9
12	189,3	16,1	53,0	19,1	75,2	17,1	41,7
13	265,7	15,7	49,5	18,7	76,1	17,0	41,7
14	183,1	14,6	45,3	16,3	79,5	15,1	65,5
Prom.	213,9	16,0	49,5	18,9	77,9	17,1	49,5

Fuente: Autor

- **Histograma de temperatura ambiental de prueba N° 3**

Mediante un histograma de frecuencias se pretende determinar la cantidad de veces que se tendría las temperaturas críticas que se eligió para realizar la evaluación y comparación de las dos habitaciones. Por lo que en las Tablas 4.23, 4.24 y 4.25 se determina el porcentaje acumulado y la frecuencia con la que se repetirá más veces una dicha temperatura.

Tabla N° 4.23: Frecuencias de temperaturas ambientales de la prueba N°3

Clase(°C)	Frecuencia	%acumulado	Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado
9,0	1	0,30 %	12,8	86	25,60 %
10,9	28	8,63 %	14,7	60	43,45 %
12,8	86	34,23 %	22,3	37	54,46 %
14,7	60	52,08 %	16,6	36	65,18 %
16,6	36	62,80 %	24,2	32	74,70 %
18,5	20	68,75 %	10,9	28	83,04 %
20,4	23	75,60 %	20,4	23	89,88 %
22,3	37	86,61 %	18,5	20	95,83 %
24,2	32	96,13 %	26,1	13	99,40 %
26,1	13	99,70 %	9,0	1	99,70 %

Fuente: Autor.

La tabla 4.24 nos indica que el valor crítico de 9,0 °C como valor mínimo de la temperatura ambiental de la prueba tan solo ocurrió 1 vez en el total de las dimensiones y el valor máximo de 26,1 °C ocurrió 13 ocasiones en el total de las mismas, el valor que más se repite es de 12,8 °C y 14,7°C, con una frecuencia de 86 veces y 60 veces, respectivamente.

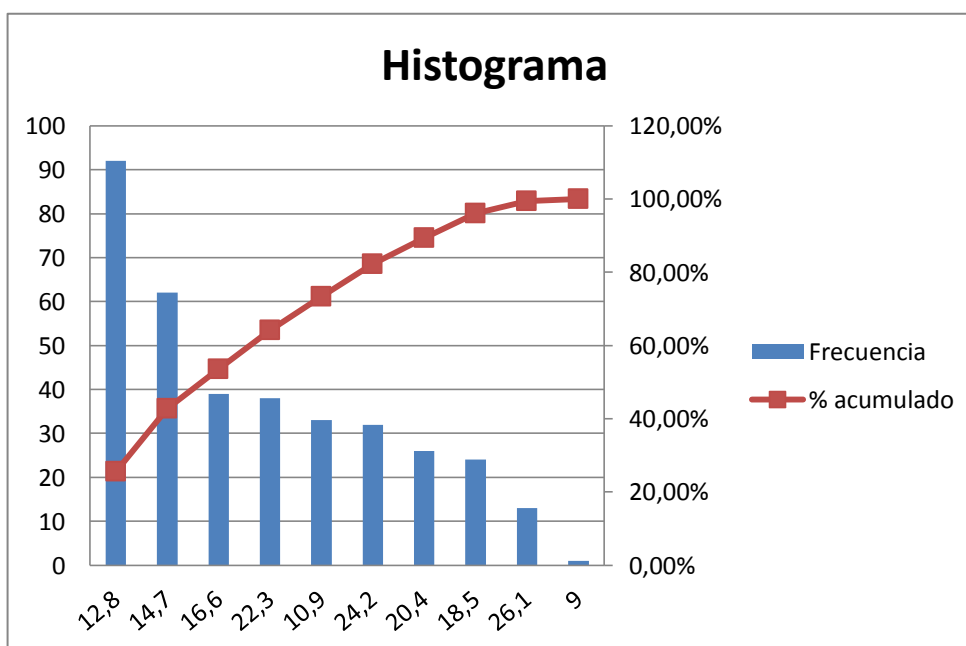


Figura 4.19: Histograma de temperaturas ambientales de prueba N° 3.

Fuente: Autor.

- **Histograma de temperatura de habitación con muro Trombe de prueba N°3**

Tabla N° 4.24: Frecuencias de temperaturas del muro Trombe de la prueba N°3

Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado	Clase(°C)	Frecuencia	% acumulado
9,9	1	0,28%	16,0	141	39,17%
13,0	30	8,61%	19,1	58	55,28%
16,0	141	47,78%	25,2	36	65,28%
19,1	58	63,89%	28,3	35	75,00%
22,2	21	69,72%	13,0	30	83,33%
25,2	36	79,72%	31,4	26	90,56%
28,3	35	89,44%	22,2	21	96,39%
31,4	26	96,67%	34,4	8	98,61%
34,4	8	98,89%	37,5	4	99,72%
37,5	4	100,00%	9,9	1	100,00%

Fuente: Autor.

La tabla 4.25 nos muestra que la temperatura crítica de 9,9 °C solo se alcanzó por una vez en el interior de la habitación con el muro Trombe, mientras que las temperaturas con mayor número de frecuencia alcanzadas son las de 16,0 ° C y 19,1 ° C, con frecuencias de 134 y 58 veces respectivamente. Siendo estas las temperaturas que con mayor frecuencia oscilan en el interior de la habitación.

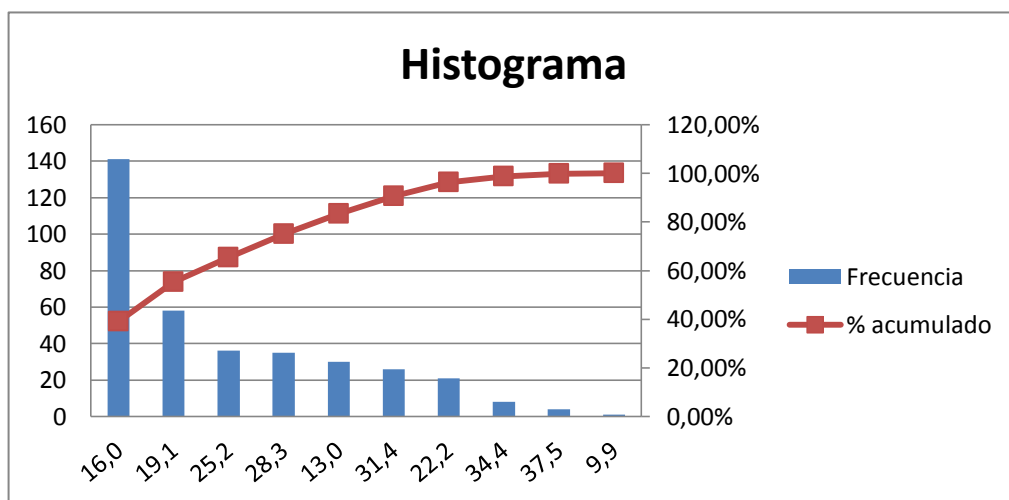


Figura 4.20: Histograma de temperaturas de habitación con muro Trombe de prueba N° 3.

Fuente: Autor.

- **Histograma de temperatura de habitación normal de prueba N°3**

Tabla N° 4.25: Frecuencias de temperaturas de habitación normal de la prueba N°3

Clase	Frecuencia	% acumulado	Clase	Frecuencia	% acumulado
9,3	1	0,30%	13,9	101	30,06%
11,6	27	8,33%	16,2	57	47,02%
13,9	101	38,39%	25,5	39	58,63%
16,2	57	55,36%	18,5	31	67,86%
18,5	31	64,58%	23,2	29	76,49%
20,9	22	71,13%	11,6	27	84,52%
23,2	29	79,76%	20,9	22	91,07%
25,5	39	91,37%	27,8	22	97,62%
27,8	22	97,92%	30,1	7	99,40%
30,1	7	99,70%	9,3	1	99,70%

Fuente: Autor.

La Tabla 4.25 nos muestra que 9,3 °C solo se alcanzó por una sola vez en el interior de la habitación normal, mientras que las temperaturas con mayor número de frecuencia alcanzadas son las de 13,9 °C y 16,2 °C, con frecuencias de 101 y 57 veces respectivamente, estas temperaturas comparándolas con la tabla 4.25 son menores a las del muro Trombe.

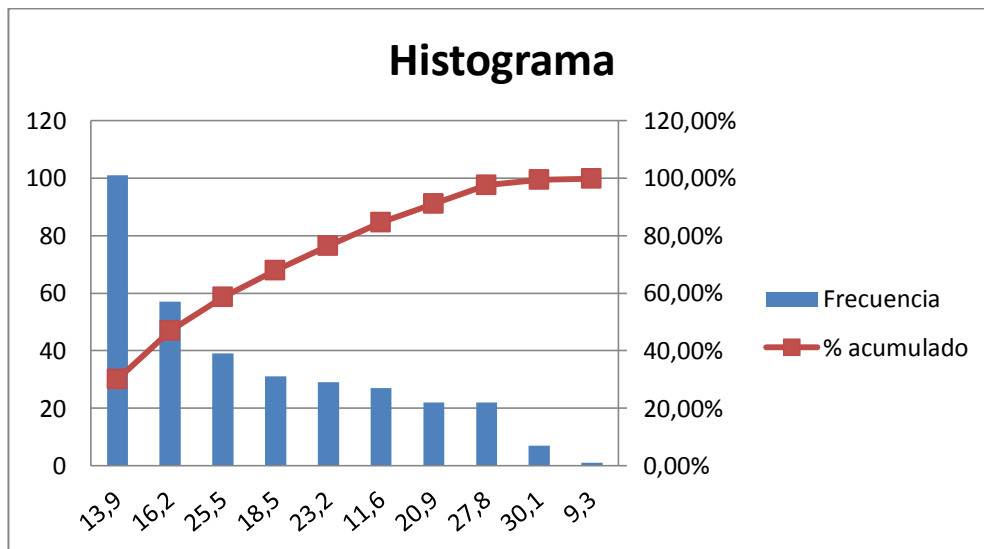


Figura 4.21: Histograma de temperaturas de habitación con normal de prueba N° 3.

Fuente: Autor.

4.2.4 Interpretación de las variaciones entre las dos habitaciones en las distintas pruebas realizadas.

Tabla N° 4.26: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.

Prueba	Temperatura de habitación con muro Trombe	Temperatura en habitación normal	Variación (THMT-THN)
1	19,6	18,6	1,0
2	19,7	18,4	1,3
3	18,9	17,1	1,8

Fuente: Autor

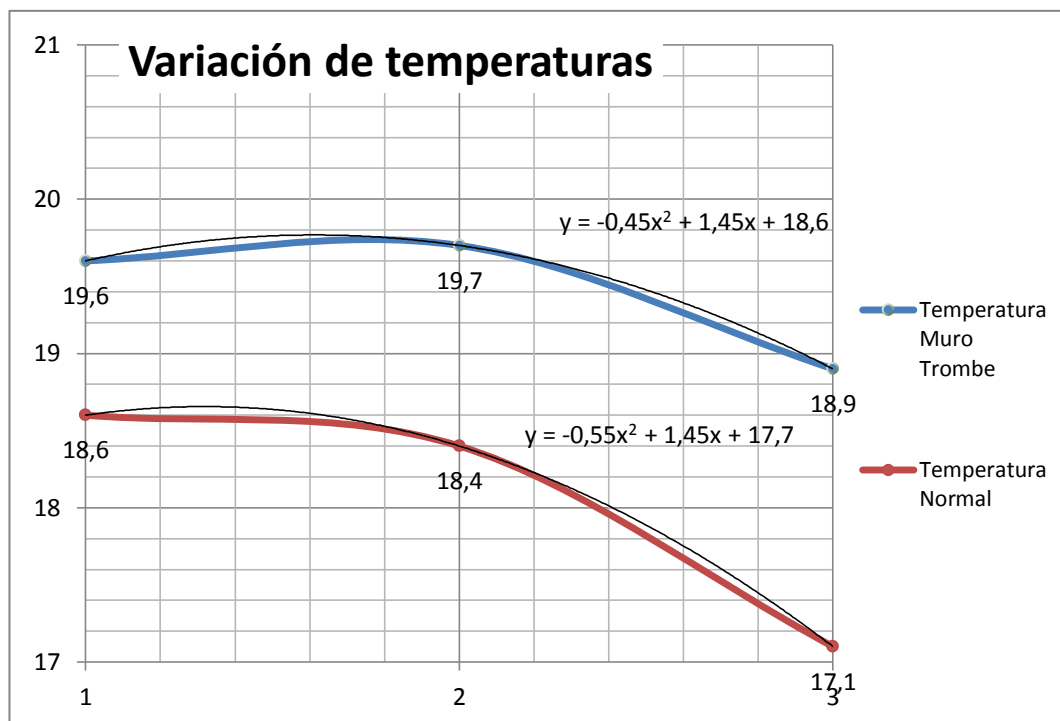


Figura 4.22: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.

Fuente: Autor

La figura 4.22 muestra que la variación más aceptable para nuestro estudio viene a ser la de la prueba N° 3, por conseguir una mayor variación de temperatura (1,8 °C), puesto que nuestro estudio se enfocaba a la temperatura

ambiental en la habitación que se origina por efecto del medio ambiente en las habitaciones y esta a su vez está enfocada al confort térmico, también analizamos un análisis en la humedad relativa de las habitaciones.

Tabla N° 4.27: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.

Prueba	Humedad de habitación con muro Trombe	Humedad en habitación normal	Variación
1	54,2	53,8	0,4
2	48,7	48,8	-0,1
3	77,9	54,7	23,2

Fuente: Autor

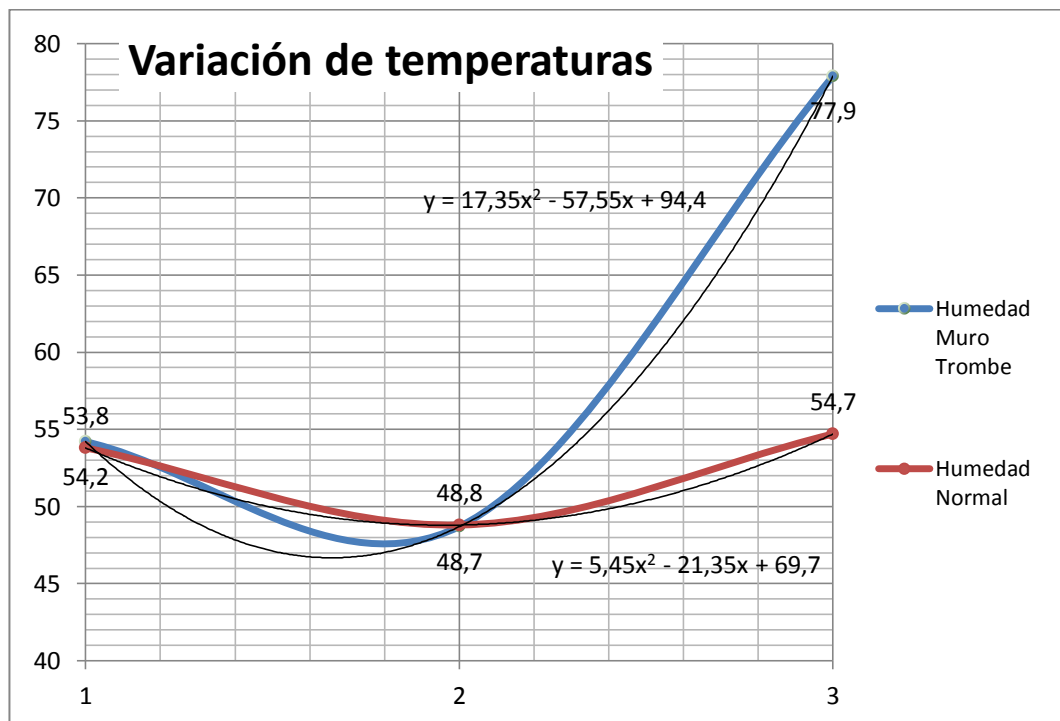


Figura 4.23: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.

Fuente: Autor

En la figura 4.23, vemos que en las pruebas N° 1 y N° 2 la humedad no varía significativamente, en la prueba N° 3 varía considerablemente sintiéndose un ambiente húmedo adentro de la misma como se manifestó anteriormente.

Al existir esta variación de humedad, refleja que el medio convectivo utilizado como colector de energía en la prueba N° 3 que fue agua, no es apropiado puesto que está influenciando de manera significativa en la humedad de la habitación con muro Trombe.

Enfocándose a la temperatura ambiental como factor del confort térmico se procedió a utilizar la (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011), la cual cita lo siguiente:

- “Temperatura del aire ambiente: entre 15 y 26 °C
- Velocidad del aire: entre 0,05 y 0,15 m/s
- Humedad relativa: entre el 40 y el 65 %”

Tabla N° 4.28: Niveles de confort térmico de acuerdo a NEC 2011

Temperatura (°C)	15-26	Confort térmico
Humedad (%)	40-65	
Velocidad de viento(m/s)	0,05-0,15	

Fuente: Autor

Con lo mencionado anteriormente podemos determinar que la mejor configuración resulto ser de la prueba N° 2, debido a que se generó una temperatura promedio en la habitación con muro Trombe de 19,7 °C, con una humedad relativa de 48,7 %, ajustándose a las especificaciones de (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

A pesar de que la mayor variación de temperatura se genere en la prueba N° 3 esta se rechaza por su alto grado de humedad que es de 77,9 % como medida promedio, no cumpliendo los requerimientos para producir o encontrándose en niveles que generen un confort térmico.

La prueba N° 1 arrojó datos en humedad de 54,3 % encontrándose en el rango de aceptabilidad, pero esta se descarta debido a que la prueba N° 2 genera una mayor variación en temperatura, contribuyendo a un confort térmico.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

4.3.1 Verificación mediante promedios totales

En la siguiente tabla se muestra una variación de porcentajes de temperatura, con respecto a los modelos de diseño, pudiéndose determinar la mejor eficiencia al momento de elevar la temperatura de una habitación.

Tabla N° 4.29: Variaciones de temperaturas entre las dos habitaciones en estudio.

Prueba N°1	Temperatura de habitación con muro Trombe (°C)	Temperatura en habitación normal (°C)	Aumento de temperatura (°C)	Porcentaje de ganancia (%)
1	19,6	18,6	1,0	5,4
2	19,7	18,4	1,3	7,7
3	18,9	17,1	1,8	10,5

Fuente: Autor

4.3.2 Demostración Estadística

Mediante los promedios de las temperaturas diarias que duro las 3 pruebas se analizará mediante T- Student, considerando las siguientes condiciones:

- Muestras de varianza igual
- Probabilidad del 95%, es decir una confiabilidad del 0,05.
- Hipótesis (H1)=Al variar los parámetros constructivos en muros Trombe del tipo simple de circulación delantera, se podrá incrementar la temperatura ambiental como factor del confort térmico en viviendas unifamiliares.
- Hipótesis nula (Ho)=Al variar los parámetros constructivos en muros Trombe del tipo simple de circulación delantera, no existirá variación en la temperatura ambiental como factor del confort térmico en viviendas unifamiliares.

- Las variables vienen a ser las temperaturas de las 3 pruebas en la habitación Trombe (Variable 1), y las temperaturas de la habitación normal (Variable 2).

Para la prueba N°1

Tabla N° 4.30: Prueba T-Student para prueba N°1

	Variable 1	Variable 2
Media	19,44285714	18,30714286
Varianza	0,994945055	0,877637363
Observaciones	14	14
Estadístico t	3,105364871	
P(T<=t) una cola	0,002275152	
Valor crítico de t (una cola)	1,70561792	
P(T<=t) dos colas	0,004550303	
Valor crítico de t (dos colas)	2,055529439	

Fuente: Autor.

Teniéndose un valor crítico de dos colas de **0,00455** el cual es menor a $0,05/2$ que es el grado de confiabilidad de nuestra prueba, por lo que rechazamos hipótesis nula, es decir si existe una variación significativa entre las dos muestras en comparación de nuestro estudio.

Para la prueba N°2

Tabla N° 4.31: Prueba T-Student para prueba N°2

	Variable 1	Variable 2
Media	19,7428571	18,3071429
Varianza	1,84725275	1,48071429
Observaciones	14	14
Estadístico t	2,94471	
P(T<=t) una cola	0,00336403	
Valor crítico de t (una cola)	1,70561792	
P(T<=t) dos colas	0,00672807	
Valor crítico de t (dos colas)	2,05552944	

Fuente: Autor.

Teniéndose un valor crítico de dos colas de **0,00672807** el cual es menor a $0,05/2$ que es el grado de confiabilidad de nuestra prueba, por lo que se rechaza hipótesis

nula para la segunda prueba, es decir si existe una variación significativa entre las dos muestras en comparación de nuestro estudio.

- **Para la prueba N°3**

Tabla N° 4.32: Prueba T-Student para prueba N°3

	Variable 1	Variable 2
Media	18,88571429	17
Varianza	1,33978022	1,067692308
Observaciones	14	14
Estadístico t	4,547358972	
P(T<=t) una cola	5,55123E-05	
Valor crítico de t (una cola)	1,70561792	
P(T<=t) dos colas	0,000111025	
Valor crítico de t (dos colas)	2,055529439	

Fuente: Autor.

Teniéndose un valor crítico de dos colas de **0,000111025** el cual es menor a $0,05/2$ que es el grado de confiabilidad de nuestra prueba, por lo que se rechaza hipótesis nula para la segunda prueba, es decir si existe una variación significativa entre las dos muestras en comparación de nuestro estudio.

Al observar las tablas 4.31, 4.32 y 4.33, que corresponde al análisis estadístico mediante T-Student de las tres pruebas, se determina que las tres rechazan nuestra hipótesis nula (H_0), teniéndose un mayor grado de confiabilidad en la prueba N° 3, pero esta se rechaza por las condiciones anteriormente expuestas, eligiéndose la configuración de la prueba N°2.

Para verificar de mejor manera el rechazo de la hipótesis nula de la prueba N° 2, se elige los días críticos que se muestran en las tablas 4.4 y 4.5, para realizar un análisis T-Student.

Para el día 06/11/2014 siendo la temperatura ambiental máxima registrada en el periodo de prueba N° 2, el análisis mediante T-Student es:

Tabla N° 4.33: Prueba T-Student para día 06/11/2014 de prueba N°2

	Variable 1	Variable 2
Media	19,6583333	18,3
Varianza	29,9103623	23,5304348
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	
Estadístico t	9,05616321	
P(T<=t) una cola	2,3976E-09	
Valor crítico de t (una cola)	1,71387153	
P(T<=t) dos colas	4,7952E-09	
Valor crítico de t (dos colas)	2,06865761	

Fuente: Autor.

Para el día 14/11/2014 siendo la temperatura ambiental mínima registrada en el periodo de prueba N° 2, el análisis mediante T-Student es:

Tabla N° 4.34: Prueba T-Student para día 06/11/2014 de prueba N°2

	Variable 1	Variable 2
Media	19,525	18,1625
Varianza	61,9063043	53,6894022
Observaciones	24	24
Grados de libertad	23	
Estadístico t	7,04677913	
P(T<=t) una cola	1,7596E-07	
Valor crítico de t (una cola)	1,71387153	
P(T<=t) dos colas	3,5192E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2,06865761	

Fuente: Autor.

Teniéndose valores críticos de dos colas de 4,7952E-09 y 3,5192E-07 respectivamente para los dos días críticos como se detalla en las tablas 4.34 y 4.35 el cual es menor a 0,05/2 que es el grado de confiabilidad de nuestra prueba, por lo que se rechaza hipótesis nula para la segunda prueba, es decir si existe una variación significativa entre las dos muestras en comparación de nuestro estudio.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se identificó que la longitud de canal de aire afecta de manera directamente proporcional a la temperatura ambiental de una habitación al implantarse el muro Trombe.
- La determinó que con una distancia de 10 cm de longitud de canal de aire se aumentó en 7,7 % la temperatura en la habitación, superando en 2,3 % a la prueba realizada con una distancia de 5 cm.
- Se encontró que la humedad tiene poca variación al momento de comparar una habitación normal, con una habitación implantada un muro Trombe con medio convectivo de almacenamiento de calor de aire.
- El medio convectivo más eficiente en donde se almacena la energía para luego ser entregada en forma de calor es el agua, esto se debe a su alta inercia térmica de 4 186 (kJ/m³.K), lo cual logro aumentar en un 10,5 % la temperatura ambiental en una habitación construida con bloque de concreto.
- Al usarse agua como medio convectivo de almacenamiento de calor se presentó dificultades en alcanzar niveles de confort térmico en una habitación, debiéndose al alto porcentaje de humedad relativa que se obtenía en esta prueba teniéndose valores medios de 78,1 %, superando en 8,1 % a lo recomendado por normativa.
- El muro Trombe sin importar su medio convectivo desarrolla sus mayores variaciones de temperatura en comparación con una habitación normal en las horas con mayor radiación difusa que son desde las 11:00 horas hasta las 15:00 horas del día.

- En el lapso de las 08:00 horas a las 10:00 horas al momento que existen cambios bruscos de temperatura, el muro Trombe obtiene una menor temperatura que en la habitación normal, debiéndose a las propiedades físicas del muro, debido a que la plancha de fibrocemento posee menor conductividad térmica que la del bloque de concreto liviano.
- Ambato al encontrarse a Latitud S 1° 14' 30"; Longitud O 78° 37' 11", tiene poca incidencia de los rayos solares sobre la pared orientada hacia al norte como factor de un parámetro geográfico el muro Trombe, explicándose que la pared al ser perpendicular al suelo, la mayor parte del tiempo los rayos del sol sobre esta tienden a ser paralelos a la pared, contraponiéndose con la parte bibliografía en la cual recomiendan la mencionada orientación del muro Trombe.
- La implementación de sistemas bioclimáticos en el sector inmobiliario del país, puede jugar un papel importante en el país con el cambio de la matriz energética que se ha venido impulsando, para alcanzar el 3% de generación amigable que actualmente es el objetivo de la mencionada matriz.
- Ambato de acuerdo a los mapas del INHAMI, se encuentra en la zona 3 de rangos de temperatura con rangos de 14 °C 18 °C, con una radiación promedio de 4650 Wh/m²/día.
- Se estableció los parámetros de confort en viviendas de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011(Eficiencia Energética en la construcción en Ecuador), que son rangos de temperatura entre 15 °C y 26 °C y una humedad relativa: entre el 40 y el 65 %.

5.2 RECOMENDACIONES

- Aplicar un estudio más detallado considerando puentes térmicos que ocasionan la mayor pérdida de calores en viviendas.
- Realizar toma de datos anuales, la temperatura es una variable que cambia muy drásticamente en las diferentes estaciones del año.

- Impulsar el uso de arquitectura bioclimática en la región, puesto que existe la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2506:2009, “EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES”, la misma incita a usar factores ambientales para reducir el consumo energético en edificaciones.
- Realizar el estudio implantando una convección forzada originada por aletas o un flujo de aire controlado.
- Tomar en cuenta el tipo de vestuario de la persona, para determinar un confort térmico, puesto que la norma lo hace muy simplificado, considerándose una vestimenta ligera.
- Realizar el estudio en otras zonas térmicas del Ecuador, las mismas que poseen otros criterios de confort.
- Hacer un estudio más profundo sobre arquitectura bioclimática, analizando ambientes con suelos radiantes, techos calefactores, reuniendo sistemas activos y pasivos para poder tener una casa al máximo de su porcentaje en sustentabilidad.
- Aplicar el estudio con otros materiales ancestrales como el adobe, arcilla, los mismos que pueden ser utilizados en sitios patrimoniales, en los cuales no se puede aplicar técnicas modernas de construcción.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

6.1.1 Título

Diseño para eficiencia energética de una habitación tipo de 7,5 m² que utiliza paredes de fibrocemento del tipo muro Trombe simple con medio convectivo aire, para mejorar el confort térmico.

6.1.2 Beneficiario.

Este proyecto va enfocado al desarrollo tecnológico y sustentable del sector inmobiliario de la región, por ser un proyecto innovador en la mencionada área, aplicando ingeniería mecánica para optimizar recursos energéticos, naturales y económicos, con la implementación de un sistema de calefacción solar pasivo totalmente funcional.

6.1.3 Tiempo estimado para la ejecución:

El tiempo estimado el diseño de la habitación de emergencia será alrededor de un mes.

6.1.4 Equipo técnico:

- Diseñador
- Tutor

6.1.5 Ubicación

- **Ubicación:** Ambato, parroquia La Matriz, Yahaira y Pizarro 06-20.
- **Altitud:** 2632 m.s.n.m

- **Latitud y orientación:** 1° 14' 50.40" S; 78° 37' 53.34" O



Figura 6.1: Ubicación geográfica del sector.

Fuente: Google Earth.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

La investigación desarrolla en lo que respecta en el Capítulo IV se presenta los siguientes resultados que serán relevantes en nuestro diseño para eficiencia energética:

Tabla 6.1: Rango de temperaturas, según datos del INHAMI.

Dimensión o parámetro	Magnitud
Ancho de canal óptimo	10 cm.
Medio convectivo	Agua
Temperatura interna mínima	11,4 °C
Temperatura interna máxima	29 °C
Humedad Máxima	67 %
Humedad Mínima	38 %
Temperatura externa máxima	29 °C
Temperatura externa mínima	8,3 °C

Fuente: Autor

Sin embargo es necesario también centrarse en el uso del edificio y las necesidades energéticas del mismo así como de los propios usuarios. De esta manera encontramos la necesidad de intentar conseguir una gran meta; la

eficiencia energética. Para llegar a ella es necesario por una parte reducir las necesidades energéticas de los edificios mediante el ahorro de energía y por otra aumentar la capacidad de capturar la energía del sol o de generar su propia energía.

Para diseñar una habitación bioclimática se inicia desde las condiciones físicas del emplazamiento del sitio, pasando por una buena configuración arquitectónica, para así lograr satisfacer la demanda de consumo por calefacción, hasta alcanzar un confort térmico del habitante y por tal una calidad de vida de las personas.

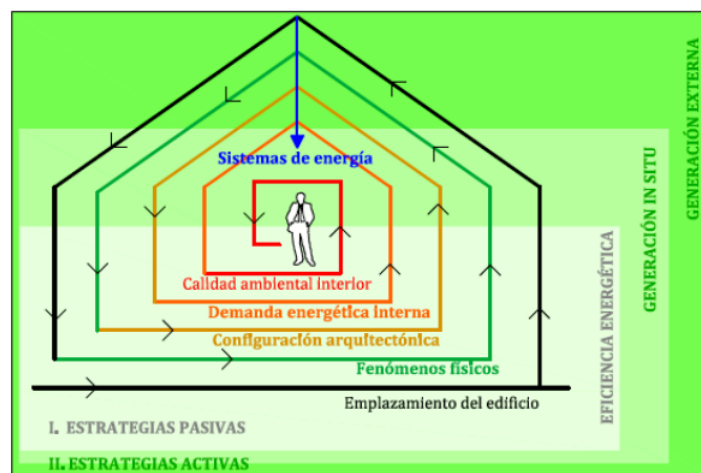


Figura 6.2: Ubicación geográfica del sector.

Fuente: Google Earth.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Con el desarrollo de la propuesta se mejorará notablemente aspectos como:

- Confort térmico en la persona que utilice mencionada habitación.
- Aumento de temperatura ambiental al utilizar técnicas tradicionales de construcción.

Para conseguir esto hay diversos recursos como: datos bioclimáticos (temperatura, humedad, radiación solar), aislamiento térmico de la envolvente, refrescamiento pasivo, calefacción solar pasiva, orientación del edificio.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 General

- Diseñar una habitación tipo de $7,5\text{m}^2$, utilizando paredes de fibrocemento del tipo muro simple con medio convectivo aire, en la ciudad de Ambato.

6.4.2 Específicos

- Configurar dimensional y geográficamente la habitación para obtener un mayor porcentaje de radiación por asoleamiento.
- Seleccionar el espesor apropiado de las paredes, considerando los parámetros de funcionamiento y finalidad del sistema de calefacción solar pasiva.
- Determinar las pérdidas de calor ocasionadas, para establecer un balance energético en la habitación.
- Determinar el grado de confort térmico de la habitación tipo mediante normativa NEC 2011 (Eficiencia Energética en la construcción en Ecuador)

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

La solución planteada es totalmente factible, técnica y económicamente, ya que no solo permite obtener un aumento en la temperatura ambiental en la habitación tipo, consiguiendo con esto un mejor confort térmico de la persona que habitará en esta, sino que además resulta que es una habitación sustentable aprovechando energías renovables y gratuitas como la solar. La calefacción solar pasiva mediante muro Trombe es un sistema el cual no necesita mayor mantenimiento, conocimiento o manipulación del mismo, resultado de fácil acceso para los habitantes. El diseño, así como parte de los requerimientos obtenidos en la parte experimental, que constituyen parámetros conocidos del funcionamiento del sistema, para plantear cálculos, y estudiar circunstancias especiales del sistema, se lo realizarán por medio de cálculos y simulaciones, conjugando el conocimiento de la bibliografía y las ventajas del software.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

6.6.1 Espesor de pared

En Ecuador la empresa colombiana Superboard, es la encargada de importar las planchas de fibrocemento que se utilizaron para la elaboración de la habitación tipo, con lo que se procedió a elegir el espesor de acuerdo a las recomendaciones del distribuidor.

Código	Borde	Medida (m)	Espesor (mm)	Peso (Kg / placa)	Peso (Kg / m ²)	APLICACIONES
011860	Recto	1.22 x 2.44	6.00	24.50	8.28	Paredes económicas, cielo rasos y aleros (sellado)
011862	Recto	1.22 x 2.44	8.00	32.80	11.02	Paredes exteriores de poca altura, paredes interiores-zonas de impacto y zonas húmedas (sellado)
011864	Recto	1.22 x 2.44	10.00	40.80	13.70	Paredes exteriores (sellado)
011866	Recto	1.22 x 2.44	12.00	49.20	16.50	Paredes exteriores-base para techos (sellado)

Figura 6.3: Espesores de placas de fibrocemento.

Fuente: Superboard.

Eligiéndose una plancha de 6mm de espesor por ser una habitación tipo.

6.6.1.1 Fibrocemento

Se utilizó fibrocemento debido a sus propiedades mecánicas, el fibrocemento Superboard como tal posee ciertas ventajas a materiales tradicionales como las paredes de ladrillo o bloque revestidas de hormigón.

El sistema Superboard permite mediante la combinación de placas de cemento de alta tecnología con perfiles de acero la materialización de fachadas y revestimientos exteriores e interiores, cielorrasos, entrepisos entre otros.

Las placas Superboard están compuesta por una mezcla homogénea de cemento, cuarzo y fibras de celulosa, no contiene asbestos, dimensionalmente estable, producto de realizar el fragüe del cemento en un horno de autoclave. Superboard es un material inalterable, resistente a golpes e impactos, impermeable, versátil e incombustible.

6.6.2 Ubicación de la habitación

Al ser un factor importante a considerar debido a que determina la exposición a la radiación solar que afecta a la temperatura y humedad en los ambientes de la habitación, se orienta de la siguiente manera:

Considerando que Ambato se encuentra en la zona 3 (ver Anexo 13):

Tabla 6.2: Rango de temperaturas, según datos del INHAMI.

Zona Climática	Rango de temperatura. Según datos del INHAMI [°C]
ZT1	6 - 10
ZT2	10 - 14
ZT3	14 - 18
ZT4	18 - 22
ZT5	22 - 25
ZT6	25 - 27

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

La orientación de la habitación para obtener la mayor ganancia solar, al estar ubicados en la línea ecuatorial y al encontrarnos en la zona térmica 3, se orientaron las fachadas principales en Este-Oeste, ya que así ya que maximizan la ganancia solar directa en la mañana y en la tarde.

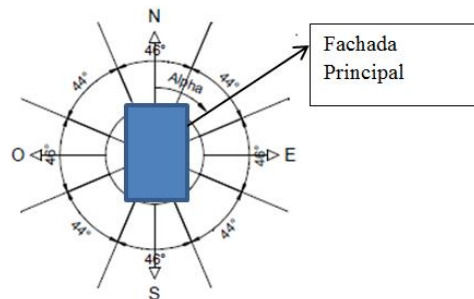


Figura 6. 4: Orientación de la habitación

Fuente: Autor

6.6.3 Dimensionamiento de ancho y largo, en base a factor de forma

Este parámetro está sujeto a las dimensiones de nuestra área de terreno, con lo que procedimos a tomar dimensiones que abarquen los $7,5 \text{ m}^2$ que es el área de diseño de nuestra propuesta, pero a que a la vez tengan una relación coherente para poder habitar la habitación de emergencia. Seleccionándose un largo de 3600mm x 2200mm.

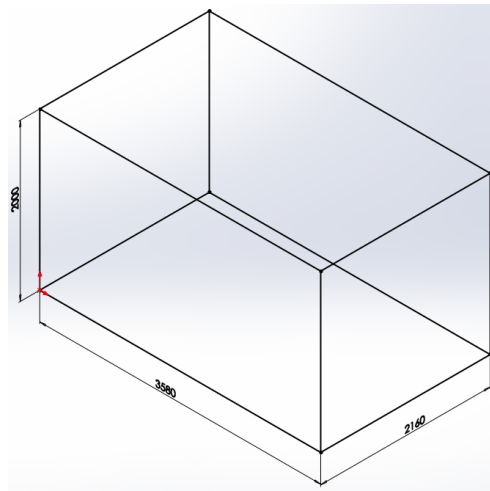


Figura 6.5: Dimensiones de la habitación tipo

Fuente: Autor

Para comprobarse las medidas seleccionadas, puesto que la forma de un edificio interviene de manera directa en el aprovechamiento climático del entorno, esto a través de dos elementos básicos: la superficie y el volumen. Se debe tomar en cuenta el cálculo del factor de forma:

$$f = \frac{S}{V} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Siendo;

f= Factor de forma

S= Superficie en m^2

V=Volumen en m^3

Factor de forma (f)	Zona climática*
0,5 < f < 0,8	Templada
f > 1,2	Cálida
* Publicación INEN: Asoleamiento y sus aplicaciones para el diseño climatológico de la vivienda en el Ecuador	

Figura 6.6: Factor de forma

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

$$f = \frac{\text{largo} * \text{ancho}}{\text{largo} * \text{ancho} * \text{altura}}$$

$$f = 0,5$$

Estando en el rango para una zona templada, como observamos en el Anexo 15.

6.6.4 Color

El color elegido para pintar las paredes se lo hizo bajo recomendación de la norma NEC-2011, la cual manifiesta que el color para paredes exteriores debe tener índices de reflexión no mayores al 60 %, eligiéndose un color rosa salmón.

Elijiéndose el color rosa salmón con una 40 % de reflexión solar en la superficie.

Tabla 6. 3: Reflexión de radiación solar en función del color de la superficie

COLOR	% REFLEJADO
Blanco cal	80
Amarillo limón	70
Amarillo Oro	60
Azul claro	40-50
Rosa salmón	40
Gris cemento	32
Anaranjado	25-30
Beige	25
Ladrillo	18
Rojo	16
Negro	5

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

6.6.5 Diseño de ventana

Las ventanas son importantes medios para la captación o pérdida de energía, por lo que tomaremos como recomendación la siguiente tabla de la Norma Ecuatoriana de Construcción:

Relación de superficie de ventana y superficie total de fachada con vidrio monolítico (SGCH<0,85; U<5,4)			
Zona Climática	Orientación		
	N-S	NO-SO-NE-SE	E-O
ZT1	20	35	50
ZT2	30	35	50
ZT3	40	35	30
ZT4	40	35	25
ZT5	40	30	20
ZT6	40	30	20

Figura 6.7: Porcentajes máximos de ventanas de acuerdo a la zona climática y la orientación.

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

La habitación tipo tiene orientación Este-Oeste, por encontrarnos en la ZT3, por lo que la ventana lo enfocaremos en el sentido Sur. Teniendo las siguientes dimensiones:

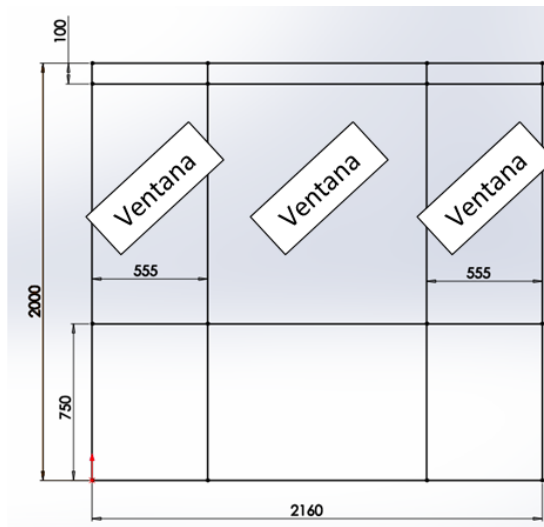


Figura 6.8: Croquis de ventanas de la habitación

Fuente: Autor.

$$A_{\text{ventana}} = 2,16\text{m} * 1,15 \text{ m}$$

$$A_{\text{ventana}} = \mathbf{2,484\text{m}^2}$$

$$A_{\text{total de fachada}} = (2,16\text{m} * 3,58\text{m}) * 2 + (2,16\text{m} * 3,58\text{m}) * 2$$

$$A_{\text{total de fachada}} = \mathbf{30,3912\text{m}^2}$$

$$\text{Relación de superficie} = \frac{A_{\text{ventana}}}{A_{\text{total de fachada}}}$$

$$\text{Relación de superficie} = 0,0803$$

$$\mathbf{\text{Relación de superficie} = 8,03 \%}$$

Siendo menor a 30% aceptándose las dimensiones para diseño de la ventana.

6.6.6 Recurso Solar

Se debe realizar la evaluación de la radiación solar directa sobre Ambato para su posterior uso mediante calefacción solar pasiva. La figura 6.14 nos muestra los valores de radiación solar directa para el Ecuador. Y como datos recogidos directamente durante la experimentación y diseño de nuestra vivienda de habitación.

Ambato está ubicado entre las latitudes 1°14' 50.40"S; 78° 37' 53.34"O. Al estar a menos de dos grados de la Línea Equinoccial, Ambato tiene poca variación en la trayectoria del sol durante todo el año, lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir calor mediante calefacción solar pasiva, teniéndose en promedio 12 horas de sol durante el día. “La variación en el zenit (cuando el sol esta perpendicular a la Tierra, a las 12 del día) es de +/- 23.5°, es decir que el Sol se desplaza 47° en el año entre el solsticio de verano (21 de junio) y el solsticio de invierno (21 de diciembre).” (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

Los valores de insolación o radiación solar global para las provincias del país y sus ciudades más importantes son:

PROVINCIA	CIUDAD	Wh/m ² /día
Carchi	Tulcán	4200
Esmeraldas	Esmeraldas	4350
Imbabura	Ibarra	5250
Manabí	Portoviejo	4650
Pichincha	Quito	5075
Tsáchilas	Santo Domingo	4650
Cotopaxi	Latacunga	4800
Napo	Tena	4350
Santa Elena	Salinas	4350
Guayas	Guayaquil	4513
Los Ríos	Babahoyo	4650
Bolívar	Guaranda	4800
Tungurahua	Ambato	4650
Chimborazo	Riobamba	4200
Pastaza	Puyo	4200
Cañar	Azogues	4500
Morona Santiago	Macas	4050
Azuay	Cuenca	4350
El Oro	Machala	4200
Loja	Loja	4350
Zamora Chinchipe	Zamora	4350
Galápagos	Puerto Ayora	5835

Figura 6.9: Valores de radiación a nivel nacional

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

La ganancia solar depende de la dirección de las superficies receptoras (muros y vanos de fachada en contacto con el aire y cubiertas) y el porcentaje entre las superficies opacas (paredes) y ventanas.

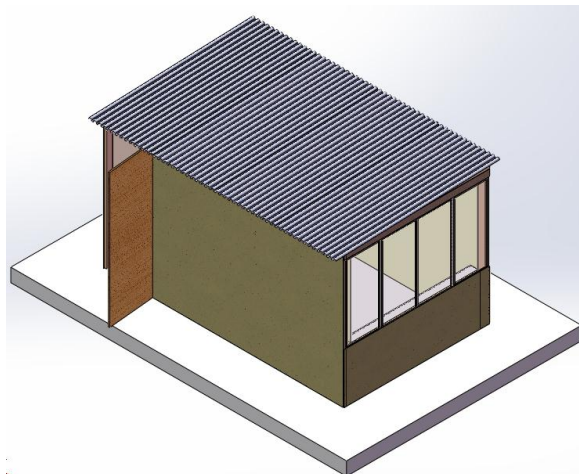


Figura 6.10: Valores de radiación a nivel nacional

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

6.6.7 Análisis termodinámico

Para el diseño termodinámico de pérdidas y ganancias de calor en la habitación de emergencia se asumen las siguientes hipótesis de diseño:

- Se consideran condiciones estacionarias de operación
- La transferencia de calor es unidimensional
- Las propiedades térmicas son constantes en todos los puntos de los materiales y/o fluidos.
- Se considera la siguiente denominación para identificar el orden de las paredes.

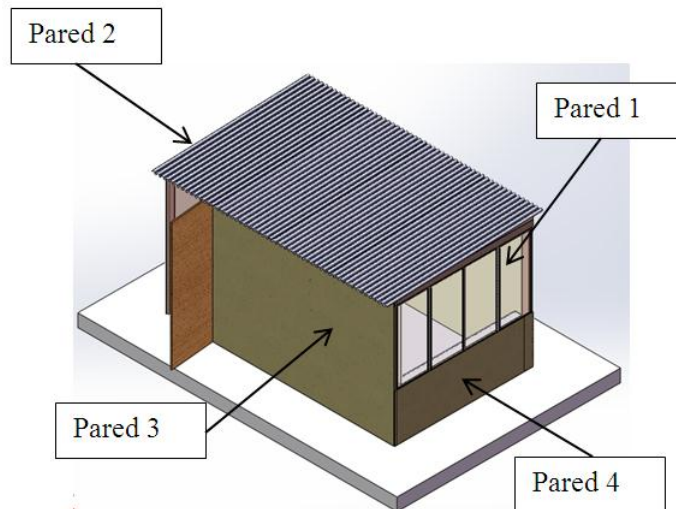


Figura 6.11: Distribución de paredes para análisis termodinámico

Fuente: Autor.

El análisis se dividió en dos etapas, una cuando el muro se convierte en un acumulador y almacena energía y la otra cuando cede y pierde esa energía almacenada.

6.6.8 Etapa de asoleamiento y radiación

Esta etapa se considera 07:00 horas hasta las 15:00 horas

Dónde:

T_{out} = Temperatura exterior

μ = Viscosidad dinámica

ρ = Densidad

ν = Viscosidad cinemática

Cp = Calor específico

Pr = Número de Prank

k = Conductividad térmica

V_{aire} = Velocidad del viento

Propiedades del aire en condiciones ambientales externas:

- $T_{out} = 29^{\circ}C$
- $\rho = 1,164 \frac{Kg}{m^3}$
- $Cp = 1007 \frac{J}{Kg.^{\circ}C}$
- $k = 0,02588 \frac{W}{m.^{\circ}C}$
- $\mu = 1,872 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m.s}$
- $\nu = 1,608 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$
- $Pr = 0,7282$
- $V_{aire,prom} = 2,1 \frac{m}{s}$

Propiedades del aire en condiciones ambientales internas:

- $T_{int} = 33,8^{\circ}C$
- $\rho = 1,11496 \frac{Kg}{m^3}$
- $Cp = 1007 \frac{J}{Kg.^{\circ}C}$
- $k = 0,02616 \frac{W}{m.^{\circ}C}$
- $\mu = 1,8894 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m.s}$
- $\nu = 1,6437 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$
- $Pr = 0,72136$
- $V_{aire,prom} = 0,2 \frac{m}{s}$

6.6.8.1 Cálculo de coeficientes de convección para el interior de la habitación así como para el ambiente.

$$h = 8,3V^{0,6} \quad \text{Para; } 0,2m/s < V < 4m/s \quad (\text{Ecuación 6. 2})$$

Donde;

V = Velocidad del aire en m/s

h = Coeficiente de convección en $W/m^2.^{\circ}C$

Para el interior se tiene;

$$h_{int} = 3,16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Para el exterior se tiene;

$$h_{ext} = 12,95 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

6.6.8.2 Análisis del comportamiento de la transferencia de calor en la configuración de la pared.

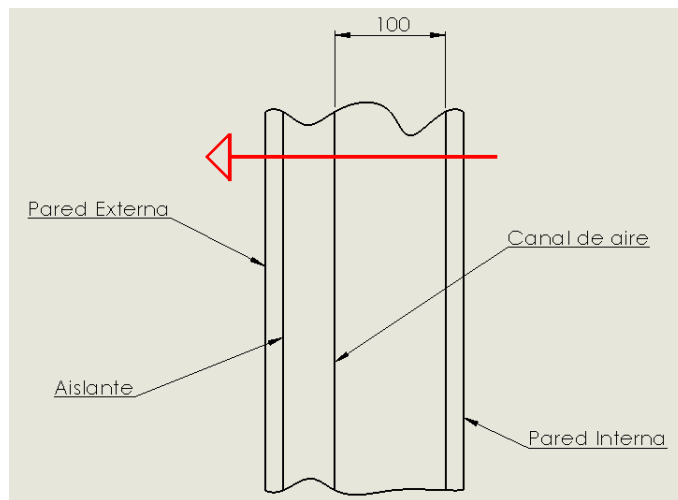


Figura 6.12: Flujo de calor en pared

Fuente: Autor

Realizando el análisis y diagrama eléctrico equivalente se tiene:

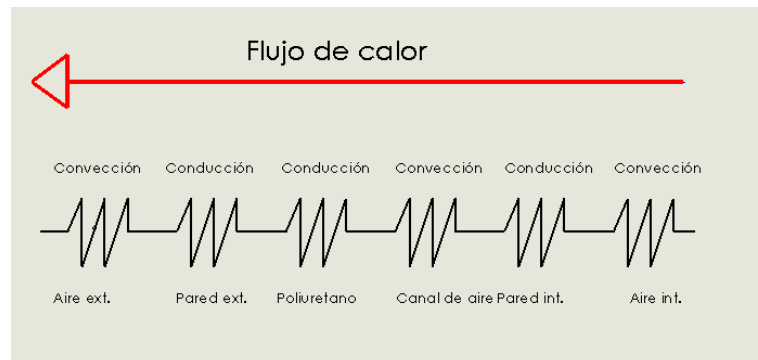


Figura 6.13: Diagrama equivalente

Fuente: Autor

$$\frac{1}{U} = R_{aire\ ext.} + R_{pared} + R_{aislante} + R_{canal} + R_{pared} + R_{aire\ int.}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{ext}} + \frac{L}{k_{pared}} + \frac{L}{k_{aislante}} + \frac{1}{h_{canal}} + \frac{L}{k_{pared}} + \frac{1}{h_{int}} \quad (\text{Ecuación 6. 3})$$

Donde;

$h =$ Coeficiente de conveccion en $W/m^2.\text{°C}$

$L =$ Longitud de tranferencia en m ; $L_{pared} = 0,006m$; $L_{aislante} = 0,01m$

$k =$ Conductividad termica en $W/m.\text{°C}$; $k_{pared} = 0,26$; $k_{aislante} = 0,02$

6.6.8.3 Análisis del coeficiente de transferencia de calor en el canal de aire

Como podemos observar el coeficiente de convección dentro de nuestro canal de aire es un coeficiente combinado (convección + radiación).

$$h_{canal\ de\ aire} = h_{convección} + h_{radiación} \quad (\text{Ecuación 6. 4})$$

6.6.8.4 Análisis de coeficiente de convección (h_{conv})

Se escoge como temperatura de análisis de las propiedades del aire, una temperatura promedio de las dos que rodean el canal de aire.

$$T = \frac{T_{exterior} + T_{interior}}{2} \quad (\text{Ecuación 6. 5})$$

$$T = 31,4\text{°C} = 304,4K$$

Propiedades del aire a temperatura promedio

- $\rho = 1,1587 \frac{Kg}{m^3}$
- $Cp = 1007 \frac{J}{Kg.\text{°C}}$
- $k = 0,02598 \frac{W}{m.\text{°C}}$
- $\mu = 1,8034 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m.s}$
- $\nu = 1,621 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$
- $Pr = 0,7278$

6.6.8.5 Calculo de número de Rayleigh

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta + (T_{int} - T_{ext}) \cdot L^3}{\nu^2} \quad (\text{Ecuación 6. 6})$$

Donde;

g = Gravedad en m/s^2

β = Coeficiente de expansion volumétrica en $1/K$

T = Temperatura ambiental en $^{\circ}C$

L^3 = Longitud característica en m^3

ν = Viscosidad dinámica en m^2/s

$$Ra_L = 588562,254$$

Teniéndose un régimen laminar por $Ra_L < 10^9$

Para realizar el análisis del número de Nusselt, realizamos primero un análisis del espacio en cual está presente mencionado coeficiente, como se observa en la figura poseemos un espacio rectangular cerrado, puesto que el área de los agujeros es despreciable al área total de la pared.

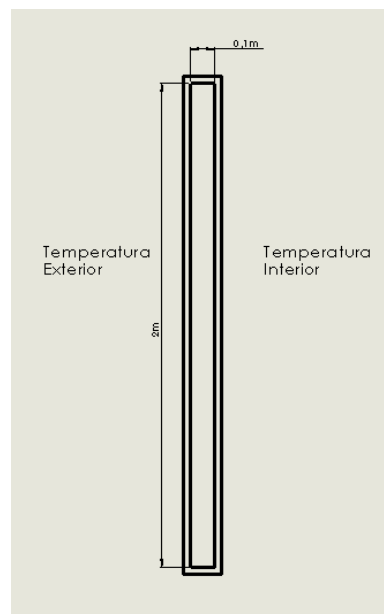


Figura 6.14: Espacio rectangular cerrado entre paredes

Fuente: Autor

Se utilizará una ecuación empírica para este tipo de caso, siendo esta:

$$Nu = 0,42 * Ra_L^{0,25} * Pr^{0,012} * \left(\frac{H}{L}\right)^{-0,3} \quad (\text{Ecuación 6. 7})$$

La misma debe de cumplir los siguientes requerimientos:

- $10 < H/L < 40$
- $0,1 < Pr < 20000$
- $10^4 < Ra < 10^7$

Donde;

Nu = Número de Nusselt

Ra_L = Número de Rayleigh

Pr = Numero de Prank

H = Altura del espacio

L = Longitud característica

$$Nu = 4,718$$

$$Nu = \frac{h_{conv} * L}{k} \quad (\text{Ecuación 6. 8})$$

$$h_{conv} = \frac{Nu * k}{L}$$

$$h_{conv} = 1,23 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Análisis del coeficiente de radiación (h_{rad})

$$h_{rad} = \varepsilon * \sigma * (T_s^2 + T_\infty^2) * (T_s + T_\infty)$$

Dónde:

ε = emisibilidad de la superficie=0,95

σ = Coeficiente de Stefan – Boltzmann

$T_s = \text{Temperatura de la superficie} = 33,8 \text{ } ^\circ\text{C}$

$T_\infty = \text{Temperatura ambiental externa} = 29 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$h_{rad} = 6,01 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

En ecuación 6.7

$$h_{canal\ de\ aire} = 7,24 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

En ecuación 6.6

$$\frac{1}{U} = \left\{ \frac{1}{12,95} + 0,54615 + \frac{1}{7,24} + \frac{1}{3,16} \right\} \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$\frac{1}{U} = 1,0779 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$U = 0,9276 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Coeficiente global U en función del tipo de cerramiento y la zona climática W/m2K							
Zona Climática	Tm (°C)	Fachadas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con el terreno	Cubiertas en contacto con el aire	Cerramientos en contacto con espacios habitados no ventilados y medianeras	Cerramientos en contacto con espacios no habitados ventilados	Ventanas y lucernarios
ZT1	6,0 - 10,0	1,00	1,00	0,75	1,40	1,15	5,70
ZT2	10,0 - 14,0	1,25	1,25	1,00	1,80	1,50	5,70
ZT3	14,0 - 18,0	1,80	1,80	1,50	2,50	2,50	5,70

Figura 6.15: Coeficientes de transferencia U máximos en función del tipo de cerramiento y la zona climática. Climas fríos

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

Al observarse la figura se ve que el coeficiente de transferencia U, es menor al que sugiere la normativa.

Tabla 6.4: Tabla de resultados

Parámetro	Valor	Unidad
T_{int}	33,8	°C
T_{ext}	29	°C
h_{int}	3,16	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
h_{iext}	12,95	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Ra_L	588562,254	adimensional
Nu	4,718	adimensional
h_{conv}	1,23	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
h_{rad}	6,01	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
$h_{canal\ de\ aire}$	7,24	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
U	0,9276	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Fuente: Autor

6.6.8.6 Análisis de flujo de calor por las paredes

$$Q' = A * U * (T_{int} - T_{ext}) \quad (\text{Ecuación 6. 9})$$

Tabla 6.5: Tabla de áreas de paredes

Pared	Área (m ²)
1	7,2
2	4,8
3	5,8
4	1,8
Total	19,6

Fuente: Autor

$$Q' = 19,6 \text{ m}^2 * 0,9276 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} * (4,8 \text{ °C})$$

$$Q' = 87,3 \text{ W}$$

Tabla 6. 6: Tabla de resultados de calores

Parámetro	Valor
$Q'_{1,\text{total}}$	32,06W
$Q'_{2,\text{total}}$	21,37 W
$Q'_{3,\text{total}}$	25,83 W
$Q'_{4,\text{total}}$	8,01 W
$Q'_{\text{total vivienda}}$	87,27 W

Fuente: Autor

6.6.9 Etapa sin asealamiento y sin radiación

Esta etapa se considera 16:00 horas hasta las 06:00 horas

Propiedades del aire en condiciones ambientales externas:

- $T_{out} = 8,3 \text{ °C}$
- $\rho = 1,255 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $Cp = 1006 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{°C}}$
- $k = 0,02428 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}$
- $\mu = 1,764 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$
- $\nu = 1,402 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
- $Pr = 0,7342$
- $V_{aire} = 2,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Propiedades del aire en condiciones ambientales internas:

- $T_{int} = 11,4 \text{ °C}$
- $\rho = 1,285 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- $Cp = 1006 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{°C}}$
- $k = 0,02412 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}}$
- $\mu = 1,775 \times 10^{-5} \frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$
- $Pr = 0,7339$
- $\nu = 1,414 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$
- $V_{aire} = 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

6.6.9.1 Cálculo de coeficientes de convección para el interior de la habitación así como para el ambiente.

$$h = 8,3V^{0,6} \quad \text{Para; } 0,2m/s < V < 4m/s$$

Donde;

$V =$ Velocidad del aire en m/s

$h =$ Coeficiente de convección en $W/m^2 \cdot ^\circ C$

Para el interior se tiene;

$$h_{int} = 3,16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Para el exterior se tiene;

$$h_{iext} = 14,382 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

6.6.9.2 Análisis del comportamiento de la transferencia de calor en la configuración de la pared.

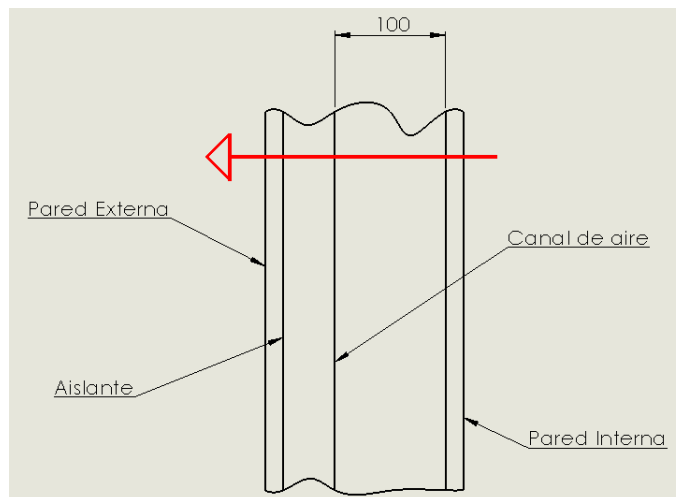


Figura 6.16: Flujo de calor en pared

Fuente: Autor

Realizando el análisis y diagrama eléctrico equivalente se tiene:

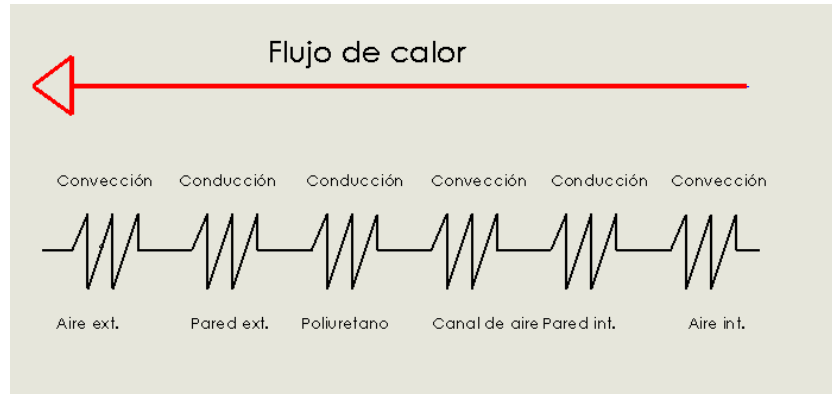


Figura 6.17: Flujo de calor en pared

Fuente: Autor

$$\frac{1}{U} = R_{aire\ ext.} + R_{pared} + R_{aislante} + R_{canal} + R_{pared} + R_{aire\ int.}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_{ext}} + \frac{L}{k_{pared}} + \frac{L}{k_{aislante}} + \frac{1}{h_{canal}} + \frac{L}{k_{pared}} + \frac{1}{h_{int}}$$

6.6.9.3 Análisis del coeficiente de transferencia de calor en el canal de aire

Como podemos observar el coeficiente de convección dentro de nuestro canal de aire es un coeficiente combinado (convección + radiación).

$$h_{canal\ de\ aire} = h_{convección} + h_{radiación}$$

6.6.9.4 Análisis de coeficiente de convección (h_{conv})

Se escoge como temperatura de análisis de las propiedades del aire, una temperatura promedio de las dos que rodean el canal de aire.

$$T = \frac{T_{exterior} + T_{interior}}{2}$$

$$T = 9,85^{\circ}C = 282,85\ K$$

Propiedades del aire a temperatura promedio de 282,85 K

- $\rho = 1,1587 \frac{Kg}{m^3}$
- $Cp = 1007 \frac{J}{Kg.^{\circ}C}$
- $k = 0,02598 \frac{W}{m.^{\circ}C}$
- $\mu = 1,8034 \times 10^{-5} \frac{Kg}{m.s}$
- $\nu = 1,621 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}$
- $Pr = 0,7278$

6.6.9.5 Calculo de número de Rayleigh

$$Ra_L = \frac{g * \beta + (T_{int} - T_{ext}) * L^3}{\nu^2}$$

$$Ra_L = 34336,643$$

Teniéndose un régimen laminar por $Ra_L < 10^9$

Para realizar el análisis del número de Nusselt, realizamos primero un análisis del espacio en cual está presente mencionado coeficiente, como se observa en la figura poseemos un espacio rectangular cerrado, puesto que el área de los agujeros es despreciable al área total de la pared.

Se utilizará una ecuación empírica para este tipo de caso, siendo esta:

$$Nu = 0,42 * Ra_L^{0,25} * Pr^{0,012} * \left(\frac{H}{L}\right)^{-0,3}$$

$$Nu = 2,318$$

$$Nu = \frac{h_{conv} * L}{k}$$

$$h_{conv} = \frac{Nu * k}{L}$$

$$h_{conv} = 0,556 \frac{W}{m^2.^{\circ}C}$$

Análisis del coeficiente de radiación (h_{rad}), no existe.

$$h_{canal\ de\ aire} = 0,556 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

En ecuación 6.6

$$\frac{1}{U} = \left\{ \frac{1}{14,38} + 0,54615 + \frac{1}{0,566} + \frac{1}{3,16} \right\} \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$\frac{1}{U} = 2,69 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$U = 0,3705 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Comprobándose de igual manera que U se encuentra en los rangos de la figura 6.15.

Tabla 6.7: Tabla de resultados

Parámetro	Valor	Unidad
T_{int}	11,4	$^\circ C$
T_{ext}	8,3	$^\circ C$
h_{int}	3,16	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
h_{iext}	14,38	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Ra_L	34335,64	adimensional
Nu	2,318	adimensional
h_{conv}	0,5566	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
$h_{canal\ de\ aire}$	0,5566	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
U	0,3705	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

Fuente: Autor

6.6.9.6 Análisis de flujo de calor por las paredes

$$Q' = A * U * (T_{int} - T_{ext})$$

$$Q' = 19,6 \text{ m}^2 * 0,3705 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{°C}} * (3,1 \text{ °C})$$

$$Q' = 87,3 \text{ W}$$

Tabla 6. 8: Tabla de resultados de calores

Parámetro	Valor
Q' _{1,total}	8,27W
Q' _{2,total}	5,51 W
Q' _{3,total}	6,66 W
Q' _{4,total}	2,07 W
Q' total vivienda	22,51 W

Fuente: Autor

6.6.10 Confort ambiental de la habitación

De acuerdo a Norma Ecuatoriana de la Construcción, se establecieron los parametros de confort térmico (Ver Anexo 13), por lo que se tomaron datos durante el lapso de 7 dias (Ver Anexo 16), para determinar el confort térmico en el interior de la habitación tipo.

Tabla 6. 9: Nivel de sensación en el interior de la habitación

Día	Conformidad	Disconformidad por calor	Disconformidad por frio
1	14	6	4
2	15	5	4
3	15	6	3
4	11	8	5
5	17	4	3
6	16	5	3
7	17	4	3
TOTAL	105	38	25

Fuente: Autor

La tabla 6.8 nos muestra un resumen de las mediciones tomadas durante el periodo 09/02/2015 a 15/02/15 , las mismas que fueron analizadas cada hora, haciendose la clasificacion mostrada en la misma.

Representandose estos datos en el siguiente grafico:

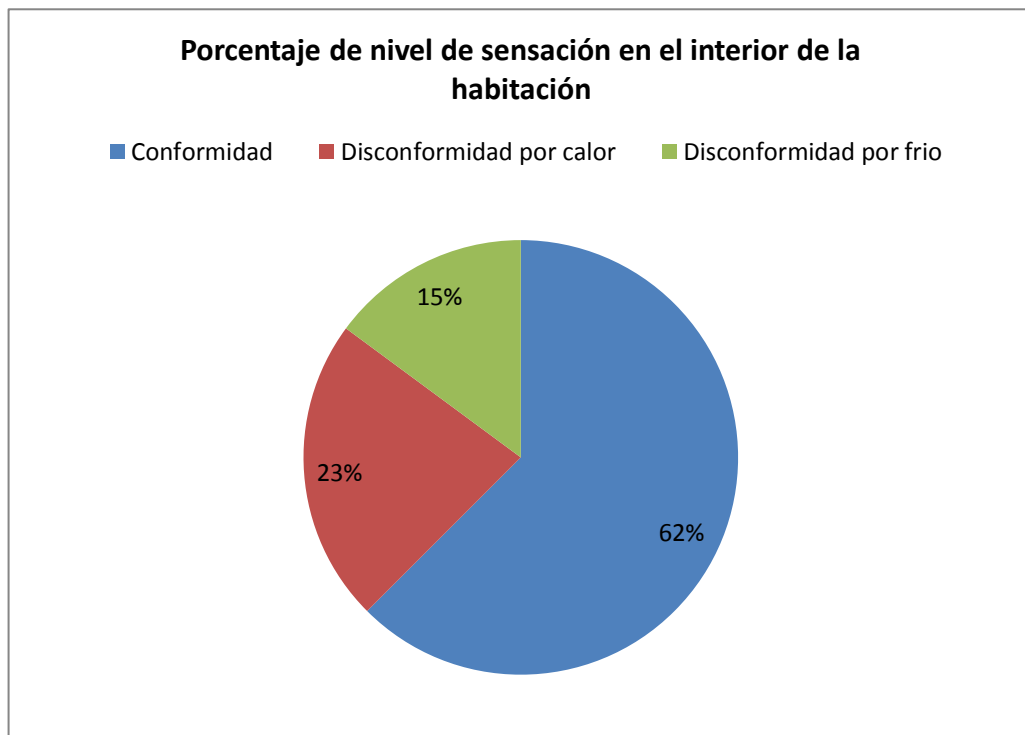


Figura 6.18: Porcentaje de nivel de sensación en el interior de la habitación

Fuente: Autor

El gráfico N° 6.18 Nos muestra que en el 62 % del tiempo la habitación mantiene un confort térmico, la mayor parte de la disconformidad se da por un exceso de calor con un 23 %, debido a que la habitación se mantiene completamente cerrada en horas del mediodía, la misma que se puede contrarrestar abriendo una ventana y provocando una ventilación normal. La disconformidad por frío se presenta en el 15 %. Cabe mencionar que los grados de confort térmico están establecidos para 1 clo y 1,5 clo, que son las calorías que brinda la ropa del usuario, para contrarrestar la disconformidad por frío se deberán aumentar los grados de calorías que proporciona la ropa.

6.7 METODOLOGÍA

El procedimiento de la metodología aplicada en el desarrollo de la propuesta se describe en el siguiente gráfico:

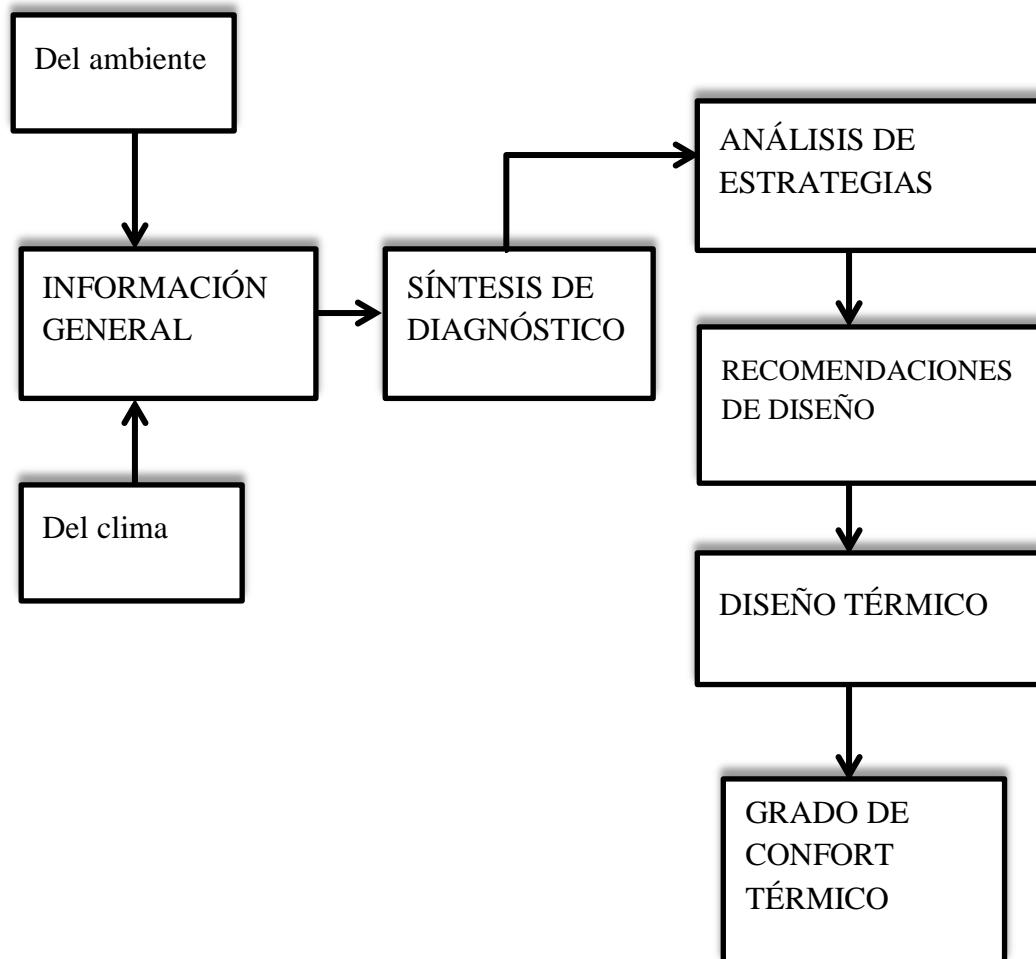


Figura N° 6.19: Metodología

Fuente: Autor

6.8 ADMINISTRACIÓN

Se analiza detalladamente los costos del proyecto de la siguiente manera:

6.8.1 Costos directos

Tabla 6. 10: Costos directos

COSTOS INDIRECTOS		
Nº	Descripción	Costo(\$)
1	Traslados	10
2	Gastos informáticos	30
3	imprevistos	30
TOTAL		70

Fuente: Autor

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Para alcanzar un mayor rendimiento en la habitación implantada paredes del tipo muro Trombe simple, se recomendaría las siguientes variantes:

Automatizar la habitación con ventilas superiores e inferiores automáticas, las mismas que se abran y se cierren según sea la necesidad de la habitación, como se pudo observar el sobrecalentamiento es un problema que genera un discomfort, el cual se puede solucionar abriendo unas ventilas inferiores, las mismas que permitan la renovación de aire frío y por tal un enfriamiento de la habitación.

A su vez se puede colocar persianas automáticas con baja emisividad, que cubran a las paredes en las horas de alta radiación manifestadas, lo que provoque una menor temperatura en el interior en la habitación.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Acuña, F. (2012). Modelo de un sistema tipo muro Trombe para calefacción solar. Santiago: Universidad de Chile.
- Aleph. (2004). Energía Solar. España: CEAC.
- Atlas Solar del Ecuador. (2013).
- Barragán, A. (09 de Junio de 2013). BIOcasa: Viviendas sostenibles de bajo costo para el Azuay. El Mercurio.
- Bridgewater, A. (2009). Energías Alternativas Handbook. España: PARANINFO.
- Cengel, Y. (2004). Transferencia de Calor. México: McGraw-Hill.
- CONELEC. (2008). Atlas Solar del Ecuador. Quito: Corporación para la Investigación Energética.
- Franco, J. (2014). En detalle: Muro Trombe. Plataforma Arquitectura, 1.
- Frank Kreith, R. M. (2009). Principios de Transferencia de Calor. Mexico: CENGAGE.
- García, D. (2004). Viviendas Bioclimáticas en Galicia. Madrid: Asociación Touda.
- Guerrero, J., Cadeño, E., & Salman, E. (2012). Calidad de vida y trabajo: algunas consideraciones útiles para el profesional de la información. 2006: Facultad de Ciencias Médicas "Mariana Grajales Coello".
- Holman, P. (1999). "Transferencia de Calor". México: McGraw-Hill.
- Lemvidgh, R. (2003). Energía Solar Térmica. España: S.A.P.T. Publicaciones Técnicas.

- Manrique, J. (1976). Transferencia de Calor. Harla.
- Mazria, E. (1983). Energía Solar Pasiva. Rodale Press.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011).
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011).
- Olaya, M. (2008). Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas. PROYECTO RECONSOST, 2.
- Olivera, D. (2011). Diseño energético de un suelo radiante para una sala de 12 m² ubicada a 4000msm en Langui-Cuzco. Cuzco: Universidad Católica del Perú.
- P., H. (2004). Transferencia de Calor. España: McGraww-Hill.
- Pesantes, M. (2012). Confort térmico en el área social de una vivienda unifamiliar en Cuenca-Ecuador. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Políticas y Estrategia para el Cambio de la Matriz. (2013).
- RECONSOST. (2012). Diseño Solar Pasivo. Revista Toldo, 3.
- Roldán, J. (2008). Fuentes de Energía. Instalaciones Eólicas e Instalaciones Solares Térmicas. España: PARANINFO.
- Sánchez, M. (2010). Energía Solar Térmica. España: LIMUSA.
- Sánchez, M. (2011). Energía Solar Fotovoltaica. España: LIMUSA.
- Sigcho, E. (2013). Criterios para la eficiencia energética en viviendas unifamiliares. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Smith, W. (2008). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Mexico: McGRawHill.
- Solarizate. (2012). Los materiales y el confort de las casas. Solarizate, 2.

- Vivanco, M. (2005). Muestreo Estadístico. Diseño Y Aplicaciones. Santiago: Salesianos S.A.
- Xavier Castells, S. B. (2011). Energía, agua, medio ambiente, territorialidad y sostenibilidad. España: Diaz de Santos.
- Yanus Cengel, M. B. (2002). Termodinámica. Mexico: MCGraw-Hill.
- Zamora, B., & Molina, L. (2002). Estudio numérico del flujo inducido por convección natural en una pared Trombe. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño de Ingeniería, 18.
- **Páginas web**
- <http://abioclimatica.blogspot.com/>
- http://ingenierosdeminas.org/biblioteca_digital/libros/hidrologia_terrenos_volcanicos.pdf
- https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17227/PFG_Edu_Pedro_Junio_2012.pdf?sequence=1
- http://issuu.com/galneryusaisuru/docs/investigaci__n_y_ciencia_257_-_febr
- <http://www.sol-arq.com/index.php/caracteristicas-materiales>
- <http://materiales23.blogspot.com/2014/04/35.html>

ANEXOS

1. Propiedades mecánicas de las planchas de fibrocemento

Propiedades físicas y mecánicas			
Propiedad	Valor*	Unidad	Ensayo
Absorción	32.0	%	ASTM C 11 85
Densidad (seca al horno)	1.25	kg/cm ³	NTC 4373
Contenido de humedad	10.0	%	NTC 4373
Movimientos hídricos			
Estiramiento seco al aire saturado	0.55	mm/m	Redco Procedure
Encogimiento de saturado a seco al horno	2.39		
Movimientos térmicos			
Encogimiento de 105°C a 25°C	6.5x10 ⁶	m/m°C	Redco Procedure
Módulo de elasticidad (E)			
Seco longitudinal	7,902		
Seco transversal	6,799		
Saturado longitudinal	5,769		
Saturado transversal	4,738	MPa	ASTM D1037
Resistencia a la flexión (MOR)			
Seco al ambiente longitudinal	15.0		
Seco al ambiente transversal	9.0		
Saturado longitudinal	10.5	MPa	NTC 4373
Saturado transversal	6.5		
Conductividad térmica	0.26	W/mK	ASTM C518
Resistencia a la tracción del clavo			
En húmedo	32.0		
En seco	64.7	kg	ASTM D1037
Resistencia al impacto (Charpy)			
Seco al horno	1.56		
Saturado	2.86	KJ/m ²	ASTM D256
Resistencia al fuego			
Índice de expansión de la llama	0.0		
Índice de propagación de humo	0.0		ASTM E84

Fuente: (Catálogo Superboard, 2014).

2. Características físicas de plancha de eternit ardex



ARDEX

MEDIDA: 2.40 mts.

ANCHO: 1.05

ANCHO UTIL: 0.975 mts.

PESO: 19.10 Kg.

Fuente: (Comercial Ávila Ochoa (CAO), 2014).

3. Propiedades térmicas de los diferentes elementos de construcción

Material	Densidad Kg/m ³	Conductividad Térmica W/m ² °C
Mampostería ladrillos comunes/macizos	1600	0,700
	1800	0,780
	2000	0,900
Mampostería bloques de hormigón	1000	0,380
	1200	0,420
	1400	0,480
Hormigón	2200	0,12
Placa de fibrocemento	1250	0,263
Poliestireno expandido	15/20	0,030
Vidrio	2700	0,700
Aire	3	0,022
Agua	1000	0,500

Fuente: (Mazria, 1983).

4. Masa térmica de los elementos de construcción

Material	Masa térmica (kJ/m ³ .K)
Agua	4186
Hormigón	2060
Bloque de tierra comprimida	1740
Placa de Fibrocemento	1530
Ladrillo	1360
Muro de Adobe	1300
Bloques de Hormigón Livianos	550

Fuente: (CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF AUSTRALIA, 2008)

5. Propiedades térmicas de los materiales usados.

Habitación	Material	Conductividad Térmica (W/m²°C)	Masa Térmica (kJ/m³.K)	Densidad (Kg/m³)
Normal	Bloques de hormigón	0,420	550	1 200
	Hormigón	0,12	2 060	2 200
Muro Trombe	Placa de fibrocemento	0,263	1 530	1 250
	Espuma de poliuretano	0,03	.	30
	Aire	0,022	.	1,03
	Agua	0,58	4 186	1 000

6. Propiedades de materiales de construcción

TABLA A-5

Propiedades de materiales de construcción (conclusión)
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Material para techos					
Tejas de asbesto-cemento		1 900	—	1.00	0.037
Asfalto en rollos		1 100	—	1.51	0.026
Tejas de asfalto		1 100	—	1.26	0.077
Techado incorporado	10 mm	1 100	—	1.46	0.058
Pizarra	13 mm	—	—	1.26	0.009
Tejas de madera (simples o con cara de plástico/película)		—	—	1.30	0.166
Materiales para revoque					
Revoque de cemento, agregado de arena	19 mm	1 860	0.72	0.84	0.026
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	13 mm	720	—	—	0.055
Agregado de arena	13 mm	1 680	0.81	0.84	0.016
Agregado de perlita	—	720	0.22	1.34	—
Material para forro exterior (sobre superficies planas)					
Tejas de asbesto-cemento	—	1 900	—	—	0.037
Forro de tablero duro	11 mm	—	—	1.17	0.12
Forro de madera (rebajada)	25 mm	—	—	1.30	0.139
Forro de madera (contrachapada), traslapada	10 mm	—	—	1.21	0.111
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	10 mm	—	—	1.22	0.11
Con respaldo de tablero aislante	10 mm	—	—	1.34	0.32
Vidrio arquitectónico	—	2 530	1.0	0.84	0.018
Maderas					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	721	0.159	1.26	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	513	0.115	1.38	—
Metales					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—

Fuente: Las tablas A-5 y A-6 se adaptaron tomándolas del *Handbook of Fundamentals* de la ASHRAE (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Cap. 22, tabla 4. Usadas con autorización.

Fuente: (Cengel, 2004)

7. Propiedades de materiales de construcción (continuación)

TABLA A-5

Propiedades de materiales de construcción (conclusión)
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Material para techos					
Tejas de asbesto-cemento		1 900	—	1.00	0.037
Asfalto en rollos		1 100	—	1.51	0.026
Tejas de asfalto		1 100	—	1.26	0.077
Techado incorporado	10 mm	1 100	—	1.46	0.058
Pizarra	13 mm	—	—	1.26	0.009
Tejas de madera (simples o con cara de plástico/película)		—	—	1.30	0.166
Materiales para revoque					
Revoque de cemento, agregado de arena	19 mm	1 860	0.72	0.84	0.026
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	13 mm	720	—	—	0.055
Agregado de arena	13 mm	1 680	0.81	0.84	0.016
Agregado de perlita	—	720	0.22	1.34	—
Material para forro exterior (sobre superficies planas)					
Tejas de asbesto-cemento	—	1 900	—	—	0.037
Forro de tablero duro	11 mm	—	—	1.17	0.12
Forro de madera (rebajada)	25 mm	—	—	1.30	0.139
Forro de madera (contrachapada), traslapada	10 mm	—	—	1.21	0.111
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	10 mm	—	—	1.22	0.11
Con respaldo de tablero aislante	10 mm	—	—	1.34	0.32
Vidrio arquitectónico	—	2 530	1.0	0.84	0.018
Maderas					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	721	0.159	1.26	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	513	0.115	1.38	—
Metales					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—

Fuente: (Cengel, 2004)

8. Propiedades del aire a 1 atmosfera de presión.

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , ν y α a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: (Cengel, 2004)

9. Emisividad de las superficies de algunos materiales

TABLA A-18

Emisividades de las superficies (conclusión)

b) No metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ	Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ
Alúmina	800-1 400	0.65-0.45	Papel blanco	300	0.90
Aluminio, óxido de	600-1 500	0.69-0.41	Revoque blanco	300	0.93
Asbesto	300	0.96	Porcelana vidriada	300	0.92
Asfalto, pavimento de	300	0.85-0.93	Cuarzo, áspero, vidrio	300	0.93
Ladrillo			Caucho		
Común	300	0.93-0.96	Duro	300	0.93
De arcilla refractaria	1 200	0.75	Suave	300	0.86
Carbono, filamento de	2 000	0.53	Arena	300	0.90
Tela	300	0.75-0.90	Silicio, carburo de	600-1 500	0.87-0.85
Concreto	300	0.88-0.94	Piel humana	300	0.95
Vidrio			Nieve	273	0.80-0.90
De ventana	300	0.90-0.95	Suelo, tierra	300	0.93-0.96
Pyrex	300-1 200	0.82-0.62	Hollín	300-500	0.95
Pyroceram	300-1 500	0.85-0.57	Teflón	300-500	0.85-0.92
Hielo	273	0.95-0.99	Agua profunda	273-373	0.95-0.96
Magnesio, óxido de	400-800	0.69-0.55	Madera		
Mampostería	300	0.80	Haya	300	0.94
Pinturas			Roble	300	0.90
De aluminio	300	0.40-0.50			
Negra, laca, lustrosa	300	0.88			
De aceite, todos los colores	300	0.92-0.96			
De base (primer) roja	300	0.93			
Acrílica blanca	300	0.90			
Esmalte blanco	300	0.90			

Fuente: (Cengel, 2004)

10. Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales

TABLA A-19

Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales

Descripción/composición	Absortividad solar, α_s	Emisividad, ϵ , a 300 K	Relación, α_s/ϵ	Transmisividad solar, τ_s
Aluminio				
Pulido	0.09	0.03	3.0	
Anodizado	0.14	0.84	0.17	
Con capa adicional de cuarzo	0.11	0.37	0.30	
Hoja	0.15	0.05	3.0	
Ladrillo rojo (Purdue)	0.63	0.93	0.68	
Concreto	0.60	0.88	0.68	
Lámina metálica galvanizada				
Limpia, nueva	0.65	0.13	5.0	
Oxidada, con acción de la intemperie	0.80	0.28	2.9	
Vidrio, espesor de 3.2 mm				
Flotado o templado				0.79
Tipo al bajo óxido de hierro				0.88
Mármol, ligeramente blanquizco (no reflector)	0.40	0.88	0.45	
Metal, con chapa				
Sulfuro negro	0.92	0.10	9.2	
Óxido negro de cobalto	0.93	0.30	3.1	
Óxido negro de níquel	0.92	0.08	11	
Cromo negro	0.87	0.09	9.7	
Mylar, espesor de 0.13 mm				0.87
Pinturas				
Negra (Parsons)	0.98	0.98	1.0	
Blanca, acrílica	0.26	0.90	0.29	
Blanca, óxido de zinc	0.16	0.93	0.17	
Papel blanco	0.27	0.83	0.32	
Plexiglas, espesor de 3.2 mm				0.90
Porcelana, losetas de porcelana, blancas (superficie vidriada reflectora)	0.26	0.85	0.30	
Tejas para techo, rojo brillante				
Superficie seca	0.65	0.85	0.76	
Superficie mojada	0.88	0.91	0.96	
Arena seca				
Blanquizca	0.52	0.82	0.63	
Roja mate	0.73	0.86	0.82	
Nieve				
Partículas finas, recién caídas	0.13	0.82	0.16	
Gránulos de hielo	0.33	0.89	0.37	
Acero				
Acabado de espejo	0.41	0.05	8.2	
Intensamente herrumbroso	0.89	0.92	0.96	
Piedra (rosa claro)	0.65	0.87	0.74	
Tedlar, espesor de 0.10 mm				0.92
Teflón, espesor de 0.13 mm				0.92
Madera	0.59	0.90	0.66	

Fuente: V. C. Sharma y A. Sharma, "Solar Properties of Some Building Elements", *Energy* 14 (1989), págs. 805-810, y otras fuentes.

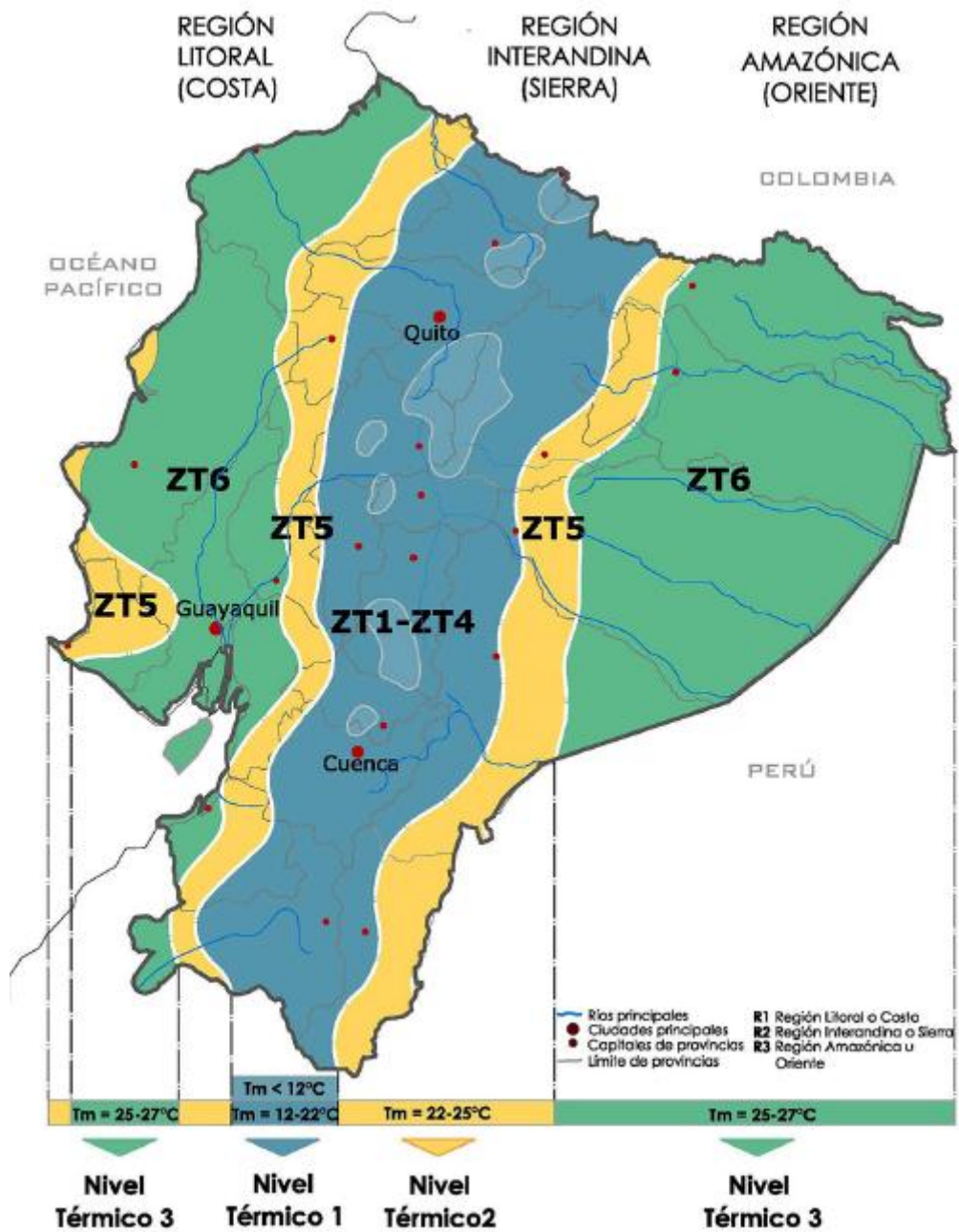
Fuente: (Cengel, 2004)

11. Ficha de toma de datos para las pruebas N° 1, N° 2 y N° 3.

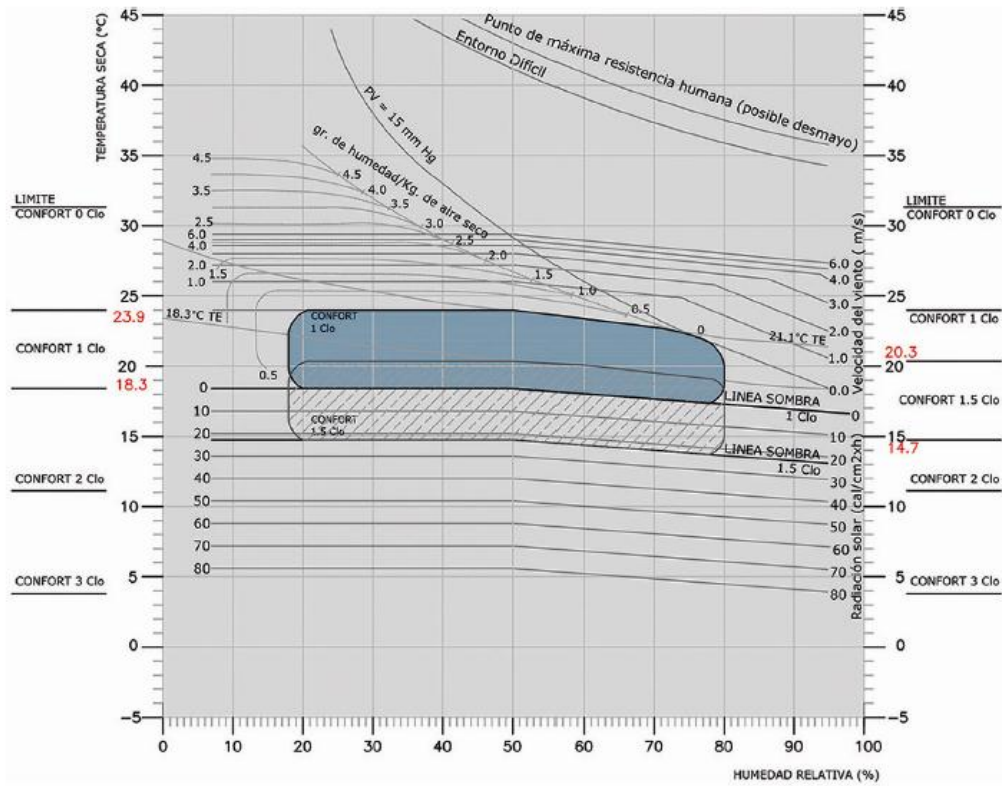
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO							
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA							
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
Fecha	Parámetros ambientales			Muro Trombe Canal de aire= Medio convectivo=		Habitación Normal	
Tiempo (HORAS)	Radiación (w/m ²)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)
0:00							
1:00							
2:00							
3:00							
4:00							
5:00							
6:00							
7:00							
8:00							
9:00							
10:00							
11:00							
12:00							
13:00							
14:00							
15:00							
16:00							
17:00							
18:00							
19:00							
20:00							
21:00							
22:00							
23:00							
Promedio							
Máximo							
Mínimo							
Δ							

Fuente: Autor

12. Mapa de nivel termico de las zonas termicas del Ecuador

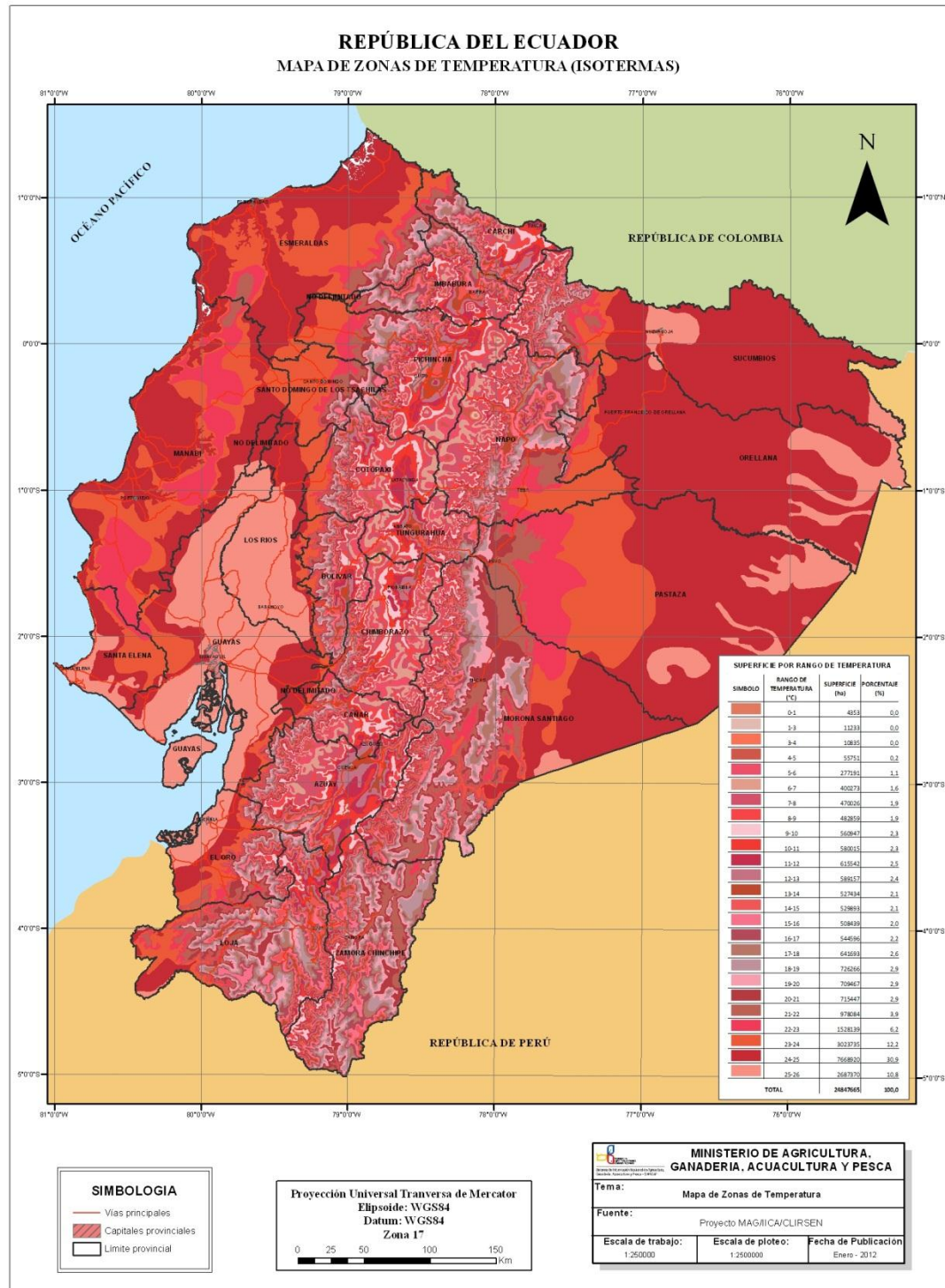


13. Climograma de confort para zonata termica 1



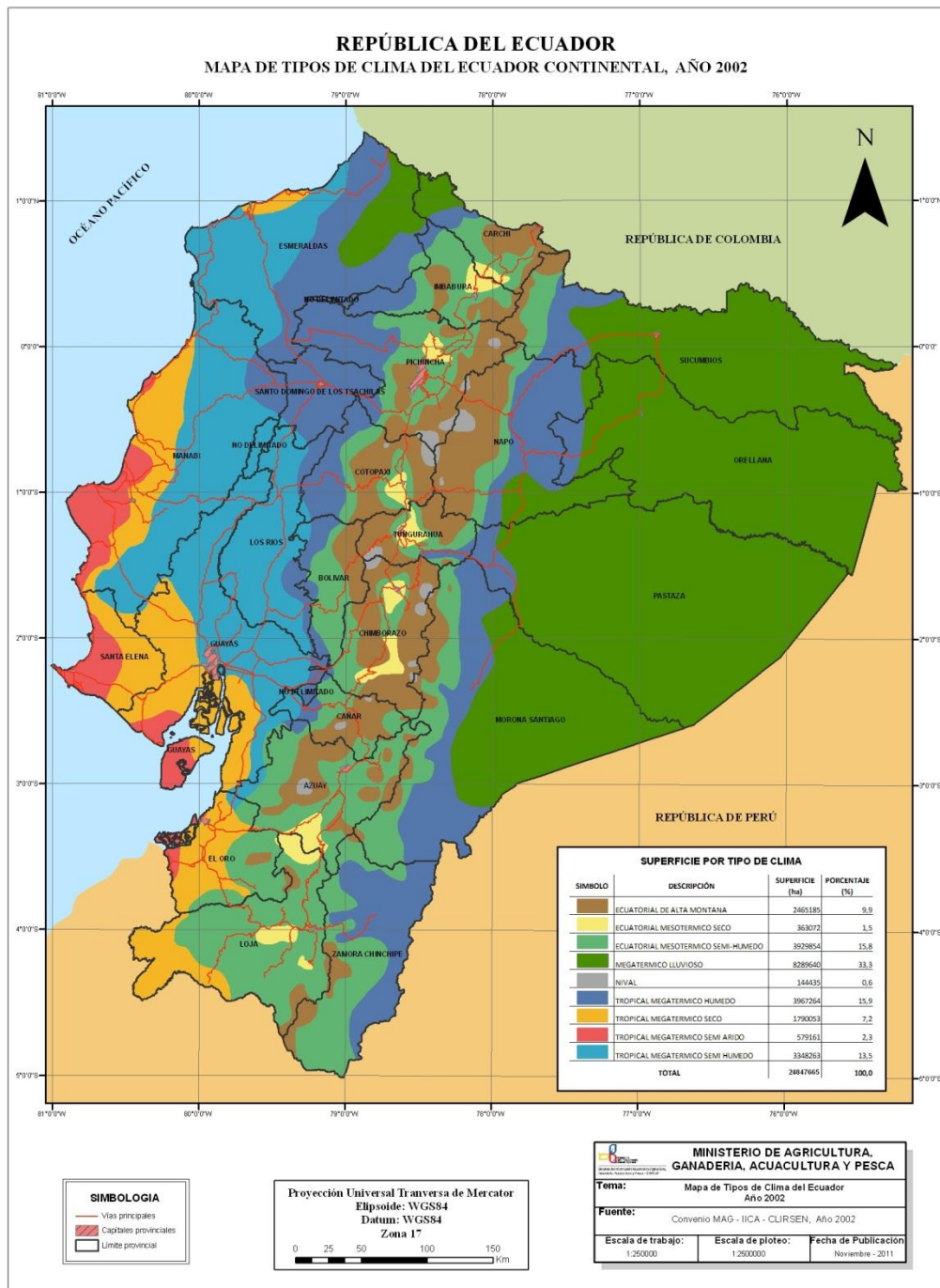
Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2011)

14. Mapa de isotermas del Ecuador



Fuente: (MAGAP, 2012)

15. Tipos de clima del Ecuador



Fuente: (MAGAP, 2012)

16. Tablas de niveles de confort térmico en la habitación

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Fecha	lunes, 09 de febrero de 2015				
	Parámetros ambientales		Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=aire		Confort térmico de acuerdo a NEC 2011
Tiempo (HORAS)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	
0:00	14,2	61,0	15,9	51,0	Confort térmico
1:00	14,8	62,0	15,5	52,0	Confort térmico
2:00	14,3	65,0	15,1	55,0	Confort térmico
3:00	13,2	65,0	14,8	55,0	Disconformidad
4:00	13,1	64,0	14,6	54,0	Disconformidad
5:00	13,2	68,0	14,5	58,0	Disconformidad
6:00	13,7	66,0	14,8	56,0	Disconformidad
7:00	14,9	68,0	15,4	58,0	Confort térmico
8:00	18,6	67,0	21,0	57,0	Confort térmico
9:00	24,1	63,0	23,3	53,0	Confort térmico
10:00	21,6	55,0	26,9	45,0	Disconformidad
11:00	22,8	49,0	30,5	39,0	Disconformidad
12:00	24,3	40,0	32,4	40,0	Disconformidad
13:00	24,9	39,0	28,9	39,0	Disconformidad
14:00	23,7	39,0	26,9	39,0	Disconformidad
15:00	21,6	40,0	24,2	40,0	Confort térmico
16:00	19,5	41,0	23,5	41,0	Confort térmico
17:00	18,7	39,0	22,3	39,0	Confort térmico
18:00	17,5	43,0	19,5	43,0	Confort térmico
19:00	16,7	45,0	18,7	45,0	Confort térmico
20:00	15,1	48,0	17,1	38,0	Confort térmico
21:00	14,4	52,0	16,2	42,0	Confort térmico
22:00	14,1	53,0	16,2	43,0	Confort térmico
23:00	13,9	57,0	16,0	47,0	Confort térmico
Promedio	17,6	53,7	20,2	53,7	15 conformidades
Máximo	24,9	68,0	32,4	68,0	9 disconformidades
Mínimo	13,1	39,0	14,5	39,0	5 por exceso de calor
Δ	11,8	29,0	17,9	29,0	4 por frío

Fuente: Autor

(Continuación)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
Fecha	domingo, 15 de febrero de 2015				
	Parámetros ambientales		Muro Trombe Canal de aire=10 cm Medio convectivo=aire		Confort térmico de acuerdo a NEC 2011
Tiempo (HORAS)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Temperatura (°C)	Humedad (%)	
0:00	14,5	48	16,2	48	
1:00	14,1	50	15,9	50	Confort térmico
2:00	13,9	51	15,3	51	Confort térmico
3:00	13,6	56	14,9	56	Disconformidad
4:00	13,2	58	14,5	58	Disconformidad
5:00	13,8	60	14,4	60	Disconformidad
6:00	14,6	65	14,6	65	Disconformidad
7:00	19,6	65	14,7	65	Disconformidad
8:00	24,2	67	18,6	67	Confort térmico
9:00	24,9	55	27	55	Disconformidad
10:00	23,4	49	30	49	Disconformidad
11:00	23,6	41	31,9	41	Disconformidad
12:00	24,3	39	31	39	Disconformidad
13:00	24,9	33	32,9	33	Disconformidad
14:00	25,5	30	32,3	30	Disconformidad
15:00	24,7	30	30,7	30	Disconformidad
16:00	23,1	32	28,3	32	Disconformidad
17:00	22,1	33	25	33	Confort térmico
18:00	19,2	35	21,9	35	Confort térmico
19:00	17,8	38	19,1	38	Confort térmico
20:00	16,4	39	17,3	39	Confort térmico
21:00	14,7	43	16	43	Confort térmico
22:00	14,7	45	16,1	45	Confort térmico
23:00	14,6	48	16,2	48	Confort térmico
Promedio	19	46,3	21,5	46,3	11 conformidades
Máximo	25,5	67	32,9	67	13 disconformidades
Mínimo	13,2	30	14,4	30	8 por exceso de calor
Δ	12,3	37	18,5	37	5 por frío

Fuente: Autor