
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

LABORATORIO DE ENTORNOS SOSTENIBLES

**EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE,
LADRILLO Y BLOCK:
3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA**

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
ARQUITECTA

PRESENTA LA ALUMNA

VEGA TORREBLANCA SOFÍA

SINODALES:

MTRO. NAOKI ENRIQUE SOLANO GARCÍA

DRA. ADRIANA LIRA OLIVER

DRA. ÁNGELES VIZCARRA DE LOS REYES

CIUDAD DE MÉXICO, JUNIO DEL 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

1.- Introducción:	6	4.3.2.- Factor de amortiguamiento térmico (μ).....	17
2.- Estado de la cuestión:	6	4.3.3.- Desfasamiento térmico	18
3.- Planteamiento del problema	8	4.4.- Confort térmico:	18
3.1.- Conclusión del análisis del estado de la cuestión.....	8	4.4.1.- Modelos de confort térmico / Confort adaptativo	19
3.2.- Justificación	8	4.4.2.- ASHRAE 55	21
3.3.- Pregunta de investigación.....	10	4.5.- La envolvente en las edificaciones y su rol en la climatización de edificios.....	22
3.4.- Hipótesis.....	10	4.6.- Arquitectura sostenible	23
3.5.- Objetivos.....	11	4.7.- El clima en México	24
4.- Marco conceptual:	11	4.8.- La vivienda vernácula	25
4.1.- Mecanismos de transferencia de calor:.....	11	4.8.1.- Características	26
4.1.1.- Conducción de calor – Ley de Fourier:.....	12	4.8.2.- Vivienda vernácula en México.....	27
4.1.2.- Transferencia de calor por convección – Ley de Newton:	13	4.8.3.- Vivienda vernácula en Oaxaca.....	29
4.1.3.- Radiación térmica – Ley de Stefan-Boltzmann.....	14	4.9.- Adobe	32
4.2.- Propiedades termofísicas de los materiales	15	4.9.1.- Descripción	32
4.2.1.- Densidad (ρ).....	15	4.9.2.- Utilización	33
4.2.2.- Calor específico (c_p)	15	4.10.- Bahareque	34
4.2.3.- Conductividad térmica (k)	16	4.10.1.- Descripción	34
4.3.- Efecto de inercia térmica (masa térmica)	16	4.10.2.- Utilización	36
4.3.1.- Generación del fenómeno	17	5.- Metodología.....	37
		5.1.- Características climáticas y medio físico natural de las zonas de estudio	38
		5.1.1.- Ciudad Ixtepec	38

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

5.1.2.- Santo Domingo Yanhuitlán	38	5.9.- Cálculo de capacidad calorífica por metro cuadrado de área y resistencia térmica	63
5.1.3.- San Jerónimo Tlacoahuaya	39	6.- Discusión /Análisis de resultados	66
5.2.- Casos de estudio base	40	6.1.- Ciudad Ixtepec	66
5.2.1.- Vivienda vernácula - Ciudad Ixtepec	40	6.2.- Santo Domingo Yanhuitlán	68
5.2.2.- Vivienda vernácula – Santo Domingo Yanhuitlán	42	6.3.- San Jerónimo Tlacoahuaya	70
5.2.3.- Vivienda vernácula – San Jerónimo Tlacoahuaya	44	7.- Conclusiones	71
5.3.- Vivienda industrializada en las zonas de estudio	46	8.- Bibliografía.....	73
5.3.1.- Ciudad Ixtepec.....	46	9.- Anexos:	77
5.3.2.- Santo Domingo Yanhuitlán	47		
5.3.3.- San Jerónimo Tlacoahuaya	48		
5.4.- Determinando los materiales constructivos de C.E.1 y C.E.2	50		
5.5.- Diagrama de ordenamiento para los casos de estudio.....	51		
5.6.- Propiedades termofísicas y ópticas de los materiales constructivos.....	53		
5.6.1.- Vivienda vernácula en Ciudad Ixtepec – C.E.0.....	53		
5.6.2.- Vivienda vernácula en Santo Domingo Yanhuitlán – C.E.0	54		
5.6.3.- Vivienda vernácula en San Jerónimo Tlacoahuaya – C.E.0	55		
5.6.4.- Viviendas industrializadas – C.E.1 y C.E.2.....	56		
5.7.- Modelado en DesignBuilder y simulación térmica en EnergyPlus	57		
5.8.- Estableciendo los intervalos de comodidad térmica y evaluación de desempeño térmico.....	61		

AGRADECIMIENTOS:

A la **Facultad de Arquitectura** por estos años. Nunca dejé de aprender y me quedo con todo lo bueno que me dio. Los profesores, las clases, las desveladas, los paseos, los viajes, los amigos y el vicio por el café. Gracias por hacer de mí una nueva persona.

A mis padres, **Gerardo Vega Hernández** por siempre darme el ejemplo. Su gran sentido de la responsabilidad y el trabajo duro son valores que siempre llevo conmigo. A mi madre **Artemisa Torreblanca Navarro**, gracias por enseñarme cómo ser una persona más cálida, gracias por tu cariño, tus consejos y tu apoyo incondicional.

A mis hermanas **Sara Vega Torreblanca**, gracias por estar siempre. Desde que naciste siempre me has cuidado para que nunca me caiga. A pesar de ser mi hermana menor, siempre te miro hacia arriba porque eres una inspiración para mí, por tu madurez, tu nobleza y tu incondicionalidad. Quiero que sigamos siendo mejores amigas siempre. A **Mariana Vega Torreblanca**, mi bebita, gracias por todos los momentos que has compartido conmigo, por hacerme reír siempre, por escucharme, por las pláticas que tanto me gustan y por estar siempre ahí para mí. Eres una de las personas que más admiro por tu fortaleza y determinación. No me queda duda que lograrás lo que te propongas.

Quiero agradecerle a mi perrito **Paris** por regalarme 9 años de su vida que iluminaron la mía. Me di cuenta que te amaba porque no podía pasar mis días sin tenerte siempre a mi lado. Daría todo por volver a abrazarte. Nunca te voy a olvidar, sol de mi vida, me diste todo. A mi

gatita **Moni** por el cariño incondicional, por hacerme compañía siempre, por ser tan bella y noble.

Quiero dedicarle esta tesis también, a mis abuelos, **Irma Navarro Pérez** y **Roberto Rangel Aranda**, mis segundos padres. Gracias por darme todo su cariño.

Quiero agradecerle al **taller UNO de la Facultad de Arquitectura**, por recibirme la mayor parte de mi carrera. En momentos que no me hallaba a mí misma, representó un momento de cambio que me trajo años de felicidad. Gracias a **Eduardo, Rubén, Janeth y Lucero** por los momentos divertidos, fueron mi remanso en los momentos difíciles.

Gracias a mis amigos (papás postizos) **Abi** y **Roberto**, que me han acompañado toda la carrera y que a pesar de la distancia sé que nos seguimos queriendo.

Estas líneas son para mi amigo **Hugo Méndez**. Nos conocimos cuando estudiábamos alemán en el CELE, pero nunca imaginé llevarme una amistad tan valiosa que perdurara en el tiempo. Las pláticas, el café y los atardeceres en Las Islas me regalaron momentos que voy a guardar con cariño. Dicho con tus palabras, el tiempo se encarga de ajustar cuentas, de separar y vincular, pero sólo las amistades sinceras duran para siempre.

A mi novio **Juan José González**, que ya me ha acompañado durante tres años de mi vida, le doy las gracias por existir y permanecer a mi lado. De ti he aprendido muchas de las cosas que me han ayudado a crecer como persona. Me enamora tu forma de ser, tu nobleza, tu forma de querer y lo sensible que eres. Me enamora saber que, aunque somos muy diferentes nunca te rindes para estar conmigo. Quiero seguir construyendo todos los días contigo.

Mi agradecimiento más profundo y sincero para el **Laboratorio de Entornos Sostenibles**, por abrirme las puertas a un espacio donde surge la investigación y las nuevas ideas. Confieso que me resultaba poco emocionante realizar una tesis de investigación, pues resultaría en temas que muchas veces tienden a ser repetitivos y poco interesantes, sin embargo, cuando entré al laboratorio me di cuenta que es un universo diferente. Se permite al alumno desarrollar sus propias teorías para después comprobarlas utilizando como base el método científico. Estar ahí refrescó mi amor por la carrera, me dio las herramientas para incursionar y buscar llegar más lejos. Al final de todo puedo decir que estoy muy satisfecha con mi trabajo.

Del laboratorio le agradezco a la **doctora Adriana Lira**, por recibirme y acompañarme durante el proceso. Es alguien a quien admiro mucho a nivel profesional y dentro del ámbito de la investigación.

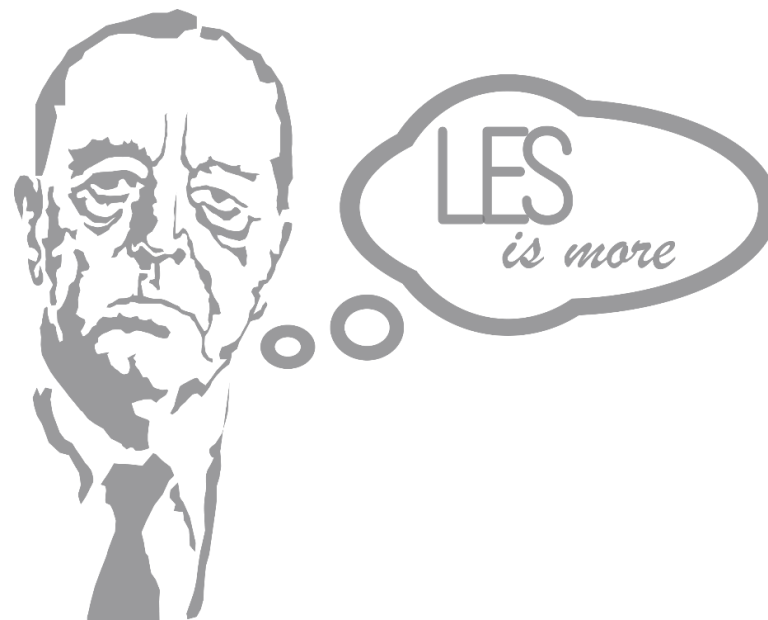
Al **maestro Naoki Enrique Solano García**, mi director de tesis, gracias por la paciencia, y por estar ahí a pesar de mis momentos de altas y bajas. Agradezco que me introdujera a los temas de mi tesis y que me invitara tan cordialmente a sus clases, han sido de las mejores que he tomado. A la **maestra Ángeles Vizcarra** le doy un amplio agradecimiento por ayudarme a desarrollar mi tesis en el ámbito de la vivienda vernácula y aprovecho para felicitar por su proyecto de Naturaleza en el Habitar, que rescata el patrimonio vernáculo en México.

Un enorme agradecimiento al **maestro Rodolfo Vilchis**. Una gran parte de mi trabajo es gracias al apoyo que me dio día con día. Quisiera agregar, que lo considero una persona muy valiosa a nivel profesional, por su entrega, su disciplina y su excelente trabajo con los alumnos del laboratorio. No termino de agradecerle por todo. Espero

que siga creciendo a nivel profesional dentro de la UNAM, pues sin duda, la comunidad universitaria necesita más personas como él.

Mi agradecimiento más grande es para la **UNAM**, por lo generosa que ha sido conmigo. Estudiar aquí me ha dado la oportunidad de crecer enormemente como persona, aprender constantemente, fallar y volverlo a intentar. Gracias a mi universidad por los conciertos de música, el teatro, el boxeo que me hizo feliz durante años, por los momentos felices dentro del campus y por todas las personas lindas que conocí.

Esta investigación fue posible realizarla gracias al proyecto **CONACYT-SENER 260155**.



1.- Introducción:

La energía demandada en el mundo moderno y la crisis ambiental exigen una revolución sustancial en las filosofías, estrategias, tecnologías, metodologías en el diseño y construcción de edificios. Desde la óptica ambiental se sabe que los edificios absorben alrededor de un 45% de la energía mundial, ingieren un 80% del uso de agua potable y consumen hasta un 50% de la producción de madera en Norteamérica (Zhiqiang & Previtali, 2009), esto sin mencionar la cadena de consumo energético que se genera a su alrededor desde la fabricación de la materia prima (transporte, producción, empaquetado, etc.) y también el desperdicio generado después de la vida útil del edificio (producto de demolición).

Debido a que estas demandas están destinadas a crecer exponencialmente, tanto arquitectos como investigadores se han dado a la tarea de estudiar materiales constructivos que pudieran contribuir a un mayor ahorro energético, tal es el caso de los materiales aislantes que evitan la transferencia o pérdida de calor aislando la envolvente del edificio, o los materiales de cambio de fase, los cuales poseen la capacidad de almacenar energía térmica en gran cantidad y liberarla en determinado momento. También por otro lado está la vivienda vernácula, un refugio construido por los antiguos pobladores de la Tierra, del cual podemos encontrar yacimientos que datan de hace aproximadamente 9,000 años. Estas viviendas tienen algo en común: constituyen una respuesta lógica a los factores climáticos que las rodean, sin necesidad de utilización de sistemas, materiales modernos o metodologías mecánicas de climatización, además de un nulo o bajo impacto ambiental en su etapa constructiva y de vida útil.

Este estudio constituye una aportación en el ámbito de la investigación acerca de uno de los elementos fundamentales para el desarrollo del ser humano: la vivienda. Ya que cada día se invierte menos tiempo en los ambientes exteriores y la vida se desarrolla en espacios cerrados, constituye un factor imprescindible investigar el rendimiento térmico de dichos espacios con el objetivo de desarrollar en un futuro ambientes dignos que garanticen el confort del usuario. Obviamente llegar a los niveles óptimos de diseño no resulta de una sola investigación, puesto que las gamas de materiales constructivos, la variabilidad del clima y las necesidades, dependiendo de la cultura y región siempre van a variar, sin embargo, es posible obtener resultados útiles situándonos, por ejemplo, en el panorama actual en México: ¿cuáles son los materiales constructivos mayormente utilizados? ¿cuál es el rendimiento de éstos en términos de confort térmico? ¿resulta lo mismo utilizar materiales constructivos vernáculos que industrializados o existe algún factor que los adecúe mejor para cierto tipo de clima? ¿el clima influye en el desempeño térmico de los sistemas constructivos?

Estas interrogantes serán resueltas a lo largo de esta investigación, pues resulta imprescindible empezar generando cambios que se adecúen más a nuestro modo de vida actual (espacios confortables), sin la necesidad de llevar con ello a grandes daños ambientales.

2.- Estado de la cuestión:

La literatura abordada para conocer los avances en estudios de desempeño de materiales para la medición de confort térmico constituyó en gran medida artículos de "ScienceDirect", la cual es una plataforma web enfocada a la investigación científica que abarca una amplia gama de ramas del conocimiento. Los contenidos de esta

plataforma incluyen periódicos académicos, libros, artículos de publicación en revistas científicas y además posee un acervo de aproximadamente 12 millones de elementos de contenido de diversas fuentes. En adición, se consultaron también publicaciones obtenidas del MDPI (Instituto de Publicación Digital Multidisciplinario) el cual es un editor de publicaciones científicas de acceso abierto vía web fundado en 1996 cuya misión se basa en fomentar el intercambio científico abierto en todas las disciplinas. Sus publicaciones incluyen temas en los ámbitos como: agricultura, algoritmos, ciencias aplicadas, artes, bioingeniería, biomedicina, química, ingeniería civil, computación, criptografía, tecnologías y muchos más.

El primer artículo consultado “Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation” (Zhiqiang & Previtali, 2009), nos da una pauta de que, en la antigüedad, debido a que las personas no contaban con la tecnología que se tiene hoy en día, recurrían directamente a la utilización de los recursos medioambientales como el sol, la luz natural y el viento para su propio beneficio creando viviendas que aprovecharon estos elementos para buscar confort.

Esto es claramente visible porque, a partir de un mapeo a nivel global realizado, se encontró que existe un sinnúmero de combinaciones de tipologías vernáculas. Más importante aún, se encontró que cada tipología responde a las características climáticas del sitio, encontrando, por ejemplo, que en climas fríos es común encontrar viviendas con una envolvente masiva que cumple un efecto aislante para prevenir que el calor existente al interior se escape, de igual manera en climas de extremo calor y con variaciones de temperatura es común encontrar construcciones con muros masivos, pues estos cumplen 2 funciones: amortiguan las variaciones de temperatura creando un ambiente interior más estable y almacenan el calor absorbido durante el día para liberarlo horas más tarde, cuando la temperatura empieza a bajar.

Otro dato que resulta interesante es el hecho de que, a pesar de las distancias, las variaciones climáticas entre diferentes regiones y las diferencias culturales, hay un punto de confluencia en los sistemas constructivos. Los muros de adobe, por ejemplo, se encontraron en América, África y Asia, ¿cómo puede explicarse esto?

Esto podría indicar que nuestros antecesores tenían un buen conocimiento del clima y sus efectos, por lo tanto, hallaron maneras de buscar su propia supervivencia y bienestar transformando sus recursos disponibles.

Artículos que pueden ser estudios análogos al que se llevará a cabo en la presente investigación son “Bioclimatic lessons from Mediterranean vernacular architecture: TheSardinian case study” (Desogus, Felice Cannas, & Sanna, 2016) y “Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal” (Bodach, Lang, & Hamhaber, 2014). Estos artículos consultados parten de la idea de que el mundo en el que vivimos hoy nos exige buscar nuevas estrategias que nos dirijan hacia un futuro más sustentable, y una manera de hacerlo es a través de las estrategias de climatización pasivas en edificios, y al tiempo ubican a las viviendas vernáculas como una fuente de soluciones para lograr el reto enfrentado. El propósito resultó identificar en qué cantidad las viviendas vernáculas implementan estrategias bioclimáticas a través de una evaluación/simulación térmica utilizando métodos de confort adaptativo. Los resultados confirmaron que las viviendas vernáculas presentadas como caso de estudio, a pesar de estar situadas en diferentes regiones, presentan características constructivas que reducen las variaciones de temperatura creando ambientes interiores con temperaturas más estables y confortables, tanto en periodos de calor como en periodos de frío.

Otro artículo consultado como análogo para generar la estructura del presente trabajo fue “Thermal Inertia Performance Evaluation of Light-

Weighted Construction Space Envelopes Using Phase Change Materials in Mexico City's Climate (Lira Oliver & Vilchis Martínez, 2017). No basta generar estudios de evaluación térmica que miden el desempeño de un espacio en un lapso de unas horas o días, pues como bien se sabe, las fluctuaciones de temperaturas ocurridas a lo largo del día al igual que los meses del año, pueden ser muy variables, por esta razón, en este caso se llevó a cabo un estudio realizado mediante simulaciones térmicas que arrojaron resultados durante el lapso de un año enfocándose en confort térmico. Para dar interés, dicho estudio compara el desempeño de varios materiales conocidos como de "cambio de fase" desarrollados principalmente para reducir el consumo energético por medios mecánicos al interior de las viviendas.

Al comparar metódicamente los materiales en cuestión, se genera un resultado preciso de su desempeño, su aplicación y se arrojan variables que resultan útiles para evitar imponer un mismo material constructivo pensando que se desenvolverá correctamente independientemente del clima en que se encuentre.

3.- Planteamiento del problema

3.1.- Conclusión del análisis del estado de la cuestión

De acuerdo a los hallazgos recientes de los artículos publicados, se sabe que hay un punto de confluencia a nivel mundial que posiciona a la vivienda vernácula como una solución repetida a las variables del clima, incluso en México, el país está dividido por zonas climáticas y, por ende, presenta diferentes tipologías dependiendo de la región.

La vivienda vernácula es una solución que en los últimos años ha perdido vigencia debido a la implementación de los materiales constructivos industrializados, sin embargo, no hay estudios encontrados que realicen una comparación abierta para medir su desempeño en el aspecto térmico y de confort, por lo mismo, estos siguen vendiéndose indistintamente del sitio a lo largo de todo el país y generando enormes fuentes de contaminación y desperdicios que pudieron ser innecesarios al tomarse la tarea de investigar a fondo.

Los artículos consultados buscan precisamente generar pruebas que mejoren el entendimiento del desempeño de la vivienda vernácula posicionándola en climas variados y realizando pruebas que midan aspectos como consumo energético y niveles de confort.

Para realizar una prueba valiosa, resultaría interesante hacer una comparación abierta para medir los niveles de confort térmico al interior de una vivienda, evaluándola primero con un sistema constructivo vernáculo y posteriormente con un par de sistemas constructivos industrializados que tengan popularidad en México. Además de esto, situando los casos de estudio en zonas climáticas que presenten una variación relevante en su temperatura media anual; esto con el objetivo de estudiar mejor los alcances de desempeño de las mismas.

3.2.- Justificación

El incremento en la población resulta una realidad innegable y esto se ve reflejado en una mayor demanda en servicios e infraestructura. La respuesta ante estas demandas, por parte de las empresas constructoras, ha sido la implementación masiva de materiales de construcción industrializados que, a pesar de que permiten una

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

construcción más tecnificada y, por lo tanto, más estandarizada, no siempre es la solución más adecuada al problema descrito, ya que pueden interactuar negativamente tanto con el usuario como con el entorno en donde se construye.

En México, se han implementado materiales constructivos que surgen de la industrialización y que resultan altamente contaminantes por su proceso de manufactura, tal es el caso del concreto, que se sigue utilizando porque resulta muy factible económicamente, es seguro estructuralmente y además al tener proporciones muy exactas en sus agregados, resulta fácil convertirlo en un producto de producción sistematizada, contrario a materiales vernáculos como por ejemplo, el adobe y el bahareque, que corresponden a técnicas constructivas tradicionales y son resultado del conocimiento empírico, el cual generalmente es asistemático, varía en cada cultura y región, y resulta difícil de sistematizarlo o establecer una sola línea de guía que aplique para todas las regiones.

Por esta razón, resulta preferible para las grandes empresas constructoras emplear materiales que ya se encuentren sistematizados y sean fácilmente industrializados, por mencionar algunos están el concreto, ladrillo y el block.

Estas medidas han generado un progresivo desinterés en los materiales vernáculos. Se ha tomado como punto de ejemplo el año 2015, en el cual se llevó a cabo un censo a lo largo de todo el país para comprobar los materiales utilizados actualmente en viviendas (Tabla 3.1 y Tabla 3.2).

La Tabla 3.1 se elaboró considerando el número total de viviendas particulares habitadas en la República Mexicana en el año 2015 (31,924,853 viviendas), desglosándolas por el material utilizado para fabricar sus muros, de igual manera, la Tabla 3.2, elaborada también a partir del número total de viviendas particulares habitadas en mismo

año, fueron desglosadas por el material utilizado como techumbre de la vivienda.

Material	Cantidad de viviendas con este material en muros	Porcentaje de viviendas con este material en muros
Material de desecho	41,502	0.13 %
Lámina de cartón	57,465	0.18 %
Lámina de asbesto o metálica	175,587	0.55 %
Carrizo, bambú o palma	95,775	0.30 %
Embarro o bajareque	105,352	0.33 %
Madera	1,229,107	3.85 %
Adobe	1,711,173	5.36 %
Tabique, block, ladrillo, piedra, cantera, cemento o concreto	28,323,738	88.72 %
No especificado	181,972	0.57 %

Tabla 3.1.- Elaboración propia a partir de tabulados de la encuesta intercensal de vivienda, INEGI 2015

Sin embargo, algo más grave que implementar materiales que generan una pérdida de recursos, es su empleo sin conocimiento.

Actualmente existe un desconocimiento del desempeño térmico de los materiales, esto genera afectaciones en muchas regiones del mundo obligando a los usuarios a invertir en sistemas mecánicos de climatización como medida correctiva para la provisión de condiciones

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

de comodidad térmica adentro de los espacios construidos con materiales poco adecuados.

Material	Cantidad de viviendas con este material en techumbre	Porcentaje de viviendas con este material en techumbre
Material de desecho	38,310	0.12 %
Lámina de cartón	434,178	1.35 %
Lámina metálica	4,079,997	12.78 %
Lámina de asbesto	1,478,121	4.63 %
Lámina de fibrocemento	54,272	0.16 %
Palma o paja	140,469	0.44 %
Madera o tejamanil	695,962	2.18 %
Terrado con vigería	162,816	0.51 %
Teja	660,845	2.07 %
Losa de concreto o viguetas con bovedilla	23,985,150	75.13 %
No especificado	194,742	0.61 %

Tabla 3.2.- Elaboración propia a partir de tabulados de la encuesta intercensal de vivienda, INEGI 2015

La Comisión para la Cooperación Ambiental estima que, si en México se adoptaran sistemas para evaluar la eficiencia energética de las edificaciones, se generaría una reducción en el consumo anual de energía del 70% en el sector habitacional y del 55% para el sector comercial para el año 2030 en comparación con el escenario tendencial.

Si bien es cierto que los materiales industrializados hoy en día en México presentan un índice acelerado de consumo, no existen estudios que comprueben que estos resultan óptimos en materia de confort y ahorro energético, además de esto, se sabe con certeza que un gran porcentaje de viviendas se construyen con los mismos materiales indistintamente de la región climática en que se encuentren, lo cual demuestra un bajo interés en adaptación al sitio y poca cultura referente a la sustentabilidad.

México es un país súper variado en términos de clima, relieve, historia y cultura, por lo tanto, con fines de enriquecer el trabajo, se seleccionaron 3 zonas de estudio con características climáticas diferentes para llevar a cabo una evaluación de desempeño térmico. En este caso, el Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales hizo posible este estudio aportando los levantamientos arquitectónicos de 3 viviendas situadas en el estado de Oaxaca, las cuales serán los casos de estudio base.

3.3.- Pregunta de investigación

¿Cuál es el alcance en términos de confort térmico de los sistemas constructivos más utilizados en Oaxaca sin considerar sistemas mecánicos de climatización?

3.4.- Hipótesis

Se espera que los casos de estudio de las viviendas vernáculas presenten un porcentaje mayor de horas de confort a lo largo del periodo evaluado dadas las propiedades termofísicas de sus materiales constructivos. Estos generarán una mayor estabilidad en las variaciones de temperatura que fluyen del exterior al interior.

Además, por sus cualidades de masa térmica en muros, podrán almacenar el calor radiado para ser liberado horas más tarde en los periodos de bajas temperaturas, generando con esto un mayor lapso de confort. Las viviendas industrializadas, en cambio, actuarán como un espacio de resguardo y confort durante algunos periodos del día, pero esto no será suficiente para amortiguar los cambios drásticos de temperatura que puedan percibirse en ciertos periodos.

3.5.- Objetivos

Analizar las prestaciones térmicas de sistemas constructivos, en relación con su desempeño térmico y capacidad de proveer condiciones de comodidad térmica sin utilización de sistemas mecánicos de climatización, a partir de la realización de simulaciones computacionales del comportamiento térmico de viviendas vernáculas en climas cálido-húmedo, templado y semifrío en tres municipios del estado de Oaxaca.

Objetivos específicos.

- Realizar el modelado y simulación energética de tres viviendas ubicadas en climas cálido-húmedo, templado y semifrío en tres municipios del estado de Oaxaca considerando tanto sistemas constructivos vernáculos como industrializados.
- Determinar cuál sistema constructivo fue capaz de proveer el mayor número de horas de comodidad térmica en cada uno de los climas analizados.
- Calcular las capacidades de generar el efecto de masa o inercia térmica de los sistemas constructivos analizados en el

día más cálido y el día más frío del año para evaluar su desempeño térmico.

- Calcular la capacidad global de almacenamiento térmico de los sistemas constructivos a fin de determinar, por unidad de área de sistema constructivo, cuál puede almacenar y liberar una cantidad de calor adecuada para el clima donde se encuentre la vivienda analizada.
- Calcular la resistencia térmica global del sistema constructivo a fin de determinar cuál sistema constructivo tiene la resistencia térmica más adecuada para modular la transferencia de calor entre el ambiente exterior y el espacio interior y viceversa.
- Se busca aportar en el conocimiento del comportamiento de los materiales constructivos con el objetivo de frenar la imposición de un mismo material para todas las regiones de México, pues cada región es diferente y tiene el potencial para la creación de viviendas con características sustentables y confortables.

4.- Marco conceptual:

4.1.- Mecanismos de transferencia de calor:

La transferencia de calor es la ciencia que estudia y trata de determinar las razones por las que el calor como forma de energía se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura entre ambos, de igual modo, nos indica el tiempo transcurrido durante este proceso.

El requisito básico para que exista una transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

A continuación, se enumerarán las leyes por las cuales se rige la transferencia de calor:

Ley Cero: Cuando dos cuerpos alcanzan la misma temperatura, ambos están en equilibrio térmico (la transferencia de calor cesa cuando se alcanza el equilibrio térmico).

Primera ley: Se requiere que la razón de la transferencia de energía hacia un sistema sea igual a la razón de incremento de la energía de ese sistema.

Segunda ley: Se requiere que el calor se transfiera en la dirección de la temperatura decreciente (figura 3-1).

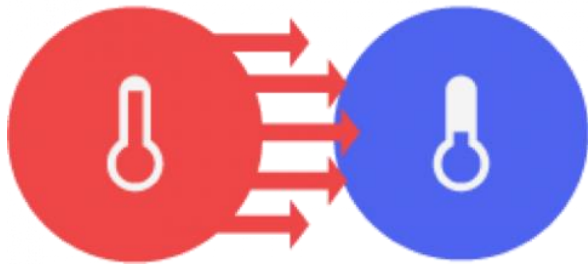


Imagen 4.1.- La transferencia de calor se da en sentido decreciente, es decir, el cuerpo más caliente cede calor en dirección al cuerpo menos caliente. (Cengel, 2007)

Muchos aparatos domésticos comunes están diseñados, en su conjunto o en parte, mediante la aplicación de los principios de la transferencia de calor. Algunos ejemplos caen en el dominio de las aplicaciones eléctricas o del uso del gas: el sistema de calefacción y acondicionamiento de aire, el refrigerador y congelador, el calentador de agua, la plancha, incluso, la computadora y la televisión. Por supuesto, los hogares eficientes respecto al uso de la energía se diseñan de manera que puedan minimizar la pérdida de calor, en invierno, y la ganancia de calor, en verano.

El espesor óptimo del aislamiento de las paredes y techos de las casas, de los tubos de agua caliente o de vapor de agua o de los calentadores de agua se determina, una vez más, a partir de un análisis de la transferencia de calor.

El calor se puede transferir en tres modos diferentes: conducción, convección y radiación. A continuación, se dará una breve explicación de estos tres métodos.

4.1.1.- Conducción de calor – Ley de Fourier:

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases.

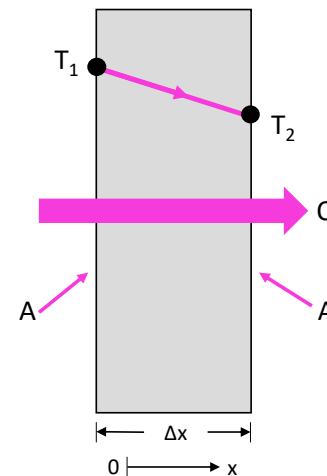


Imagen 4.2.- Elaboración propia a partir de: (Cengel, 2007). Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor " Δx " y área " A ".

La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él.

Si se considera una conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor $\Delta x = L$ y área "A", como se muestra en la figura 3-2, la diferencia de temperatura de uno a otro lado de la pared será $\Delta T = T_2 - T_1$.

Por tanto, se concluye que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa (ecuación 1); es decir,

$$\text{Razón de conducción del calor} = \frac{\text{Área}(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

o

$$Q_{\text{cond}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

En donde la constante de proporcionalidad k es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor.

La conducción de calor está determinada por la ley de Fourier, que establece que el flujo de transferencia de calor por conducción en un medio isótropo es proporcional y de sentido contrario al gradiente de temperatura en esa dirección (ecuación 2).

$$Q_{\text{cond}} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

4.1.2.- Transferencia de calor por convección – Ley de Newton:

La convección es el modo de transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento, y comprende los efectos combinados de la conducción y del movimiento del fluido. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura.

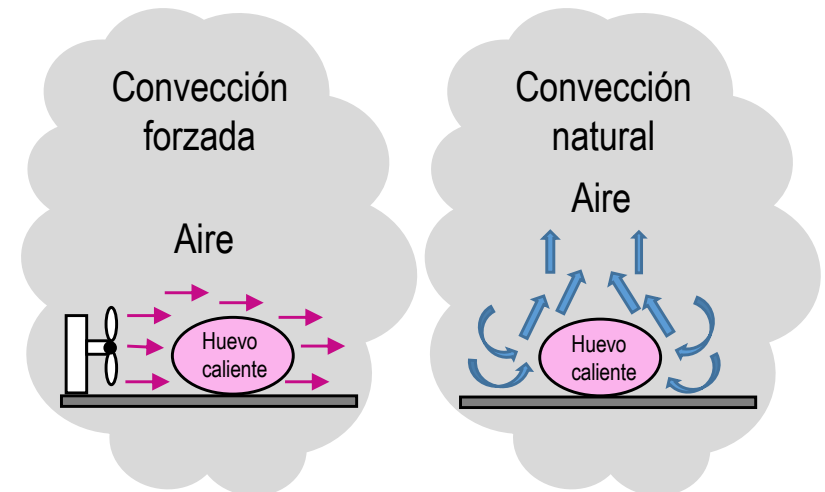


Imagen 4.3.- Elaboración propia a partir de (Cengel, 2007). Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada y por convección natural.

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido. Cuando se da la convección natural, cualquier movimiento en el aire se deberá a la elevación del aire más caliente (y, por tanto, más ligero) cercano a la superficie y la caída del más frío (y, por tanto, más pesado) para llenar su lugar (Figura 3-3).

Se sabe que la rapidez de la transferencia de calor por convección (Q_{conv}) es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento, dada en la ecuación 3:

$$Q_{conv} = hA_s (T_s - T_{\infty}) \quad (3)$$

Donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A_s = Área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección

T_s = Temperatura de la superficie

T_{∞} = Temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie

El coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la

superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo.

4.1.3.- Radiación térmica – Ley de Stefan-Boltzmann

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas.

A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio de propagación. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra.

En los estudios de transferencia de calor es de interés la radiación térmica, que es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados.

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann, dada en la ecuación 4:

$$Q_{emitida, \text{máx}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (4)$$

Donde:

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Este valor representa la constante de Stefan- Boltzmann.

Una propiedad importante relativa a la radiación de una superficie es su absorptividad α , la cual es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie que es absorbida por esta. La razón a la cual una superficie absorbe la radiación se determina a partir de lo ilustrado en la Figura 3-4.

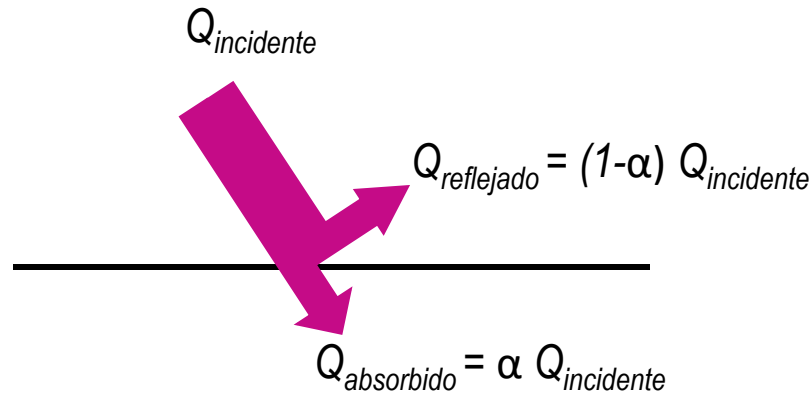


Imagen 4.4.- Elaboración propia a partir de (Cengel, 2007). Absorción de la radiación incidente sobre una superficie opaca de absorptividad α .

Se puede apreciar que [$Q_{\text{absorbida}} = \alpha Q_{\text{incidente}}$] donde $Q_{\text{incidente}}$ es la razón a la cual la radiación incide sobre la superficie y α es la absorptividad de la superficie. Para las superficies opacas (no transparentes), la parte de la radiación incidente no absorbida por la superficie se refleja.

4.2.- Propiedades termofísicas de los materiales

4.2.1.- Densidad (ρ)

Es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido, y está dada por la ecuación 5:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Donde m es la masa y V es el volumen de la sustancia.

Si un cuerpo no tiene una distribución uniforme de la masa en todos sus puntos, la densidad alrededor de un punto dado puede diferir de la densidad media. La unidad para la densidad es kg/m^3 en el Sistema Internacional de Unidades (SI).

4.2.2.- Calor específico (cp)

El calor específico se define como la energía requerida para elevar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia.

Una unidad común para los calores específicos es el $[\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}]$ o $[\text{J/kg} \cdot \text{K}]$. Estas dos unidades son idénticas, ya que $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K})$, y un cambio de 1°C en la temperatura es equivalente a un cambio de 1 K.

El calor específico está dado en la ecuación 6:

$$cp = \frac{\Delta Q}{m \Delta T} \quad (6)$$

Donde:

Cp= Calor específico de una sustancia en cal /g°C o J /kg°C

ΔQ= Cambio de calor en calorías o Joules

m= Cantidad de masa de la sustancia en gr o Kg

ΔT= Cambio de temperatura

4.2.3.- Conductividad térmica (k)

La conductividad térmica **k** es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En otras palabras, es la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras adyacentes o a sustancias con las que esté en contacto.

Científicamente, se define como la razón de transferencia de calor por unidad de tiempo a través de un material de espesor unitario por unidad de diferencia de temperatura. Sus unidades, en el Sistema Internacional de Unidades, son el W/m-K o W/m-°C. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante. En la Tabla 4.1 se dan las conductividades térmicas de algunos materiales comunes a la temperatura ambiente.

Note que los materiales como el cobre y la plata, que son buenos conductores eléctricos, también lo son del calor y tienen valores elevados de conductividad térmica. Los materiales como el caucho, la madera y la espuma de estireno son malos conductores del calor y tienen valores bajos de conductividad térmica.

Conductividades térmicas (k) de algunos materiales a la temperatura ambiente

Material	W/m * °C
Diamante	2300
Plata	429
Cobre	401
Oro	317
Aluminio	237
Hierro	80.2
Mercurio (l)	8.54
Vidrio	0.78
Ladrillo	0.72
Agua (l)	0.607
Piel humana	0.37
Madera (roble)	0.17
Helio (g)	0.152
Caucho suave	0.13
Fibra de vidrio	0.043
Aire (g)	0.026
Uretano, espuma rígida	0.026

Tabla 4.1.- Elaboración propia a partir de (Cengel, 2007)

4.3.- Efecto de inercia térmica (masa térmica)

La inercia térmica es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente, disminuyendo de esta forma la necesidad de aportación de climatización por medios mecánicos. La inercia o masa térmica que

puede generar un material depende de su conductividad térmica, su densidad y su calor específico. Edificios de gran inercia térmica tienen menos variaciones térmicas, por lo que las temperaturas interiores serían idealmente más estables ya que el calor acumulado durante el día se libera en el período nocturno, esto nos sugiere que a mayor inercia térmica mayor estabilidad térmica.

4.3.1.- Generación del fenómeno

La inercia térmica conlleva dos fenómenos, uno de ellos es el amortiguamiento térmico observado en la variación de las temperaturas y otro es el desfase de la temperatura interior respecto a la exterior.

Un ejemplo de gran inercia térmica es el suelo, cuyo efecto climático puede ser utilizado ya que amortigua y retarda la variación de temperatura que se produce entre el día y la noche. El semienterramiento de edificios, por ejemplo, puede llegar a aprovechar la capacidad de acumulación calorífica del suelo.

4.3.2.- Factor de amortiguamiento térmico (μ)

Los efectos en un cerramiento frente a una acción térmica de forma sinusoidal no son sólo de retardo térmico, sino que también provocan una pérdida de amplitud de esta onda. Es decir, si la variación de las temperaturas exteriores vale A_{ext} (igual a la diferencia entre la máxima y la mínima al exterior), la variación de temperaturas interiores valdrá A_{int} (igual a la diferencia entre la máxima y la mínima hacia el interior), de tal forma que se cumpliría lo expuesto en la ecuación 6.

$$A_{ext} > A_{int} \quad (6)$$

La relación de estos dos valores de oscilación de temperatura se denomina coeficiente de amortiguamiento térmico (μ) del cerramiento y, por tanto, es una magnitud adimensional y queda expresado en la ecuación 7.

$$\mu = A_{int} / A_{ext} \quad (7)$$

Los valores de μ oscilan entre cero y uno. Un valor igual a cero significa que la variación de temperaturas internas es nula, es decir, que no importa cuál sea la temperatura exterior, en el interior se mantiene una temperatura constante. Por el contrario, un valor igual a la unidad significa que la variación de temperatura interior es igual a la exterior.

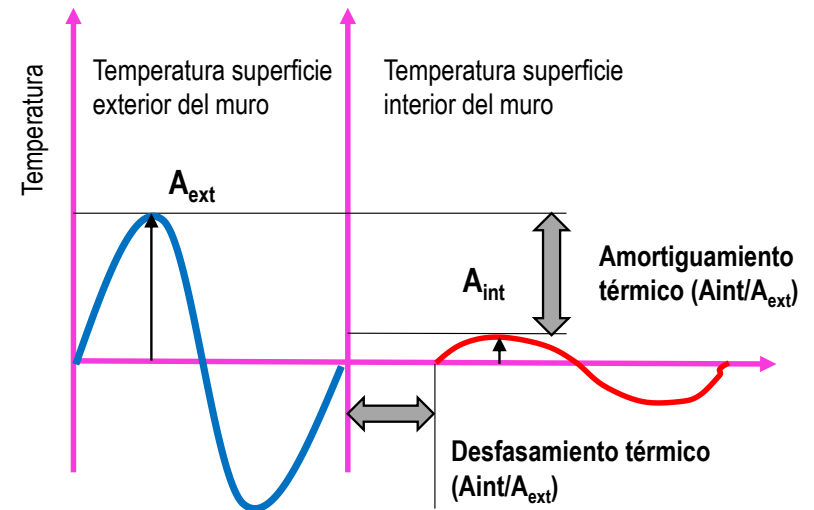


Imagen 4.5.-Elaboración propia a partir de (Climablock Construcción Sostenible, s.f.)

4.3.3.- Desfasamiento térmico

Los edificios se encuentran constantemente expuestos a las temperaturas exteriores las cuales nunca son constantes, ni durante el transcurso del día ni a lo largo de todo el año. Estos cambios pueden ser muy suaves o incluso bruscos, en función del asoleamiento y las características meteorológicas del sitio. Esta fluctuación térmica del aire exterior en un edificio se puede representar mediante una curva sinusoidal en un periodo de 24 horas. De igual manera, el calentamiento o enfriamiento de los cerramientos de un edificio, también sufrirá variaciones en el mismo sentido y, en consecuencia, el aire o el ambiente interior del edificio también tendrá una variación de forma sinusoidal.

Según la capacidad térmica de los cerramientos, existirá un desfasamiento entre la onda que representa la temperatura interior y la onda que representa la exterior. Este desfase de onda térmica recibe el nombre de desfasamiento térmico (Imagen 4.5).

4.4.- Confort térmico:

El cuerpo humano es un generador constante de calor, pues produce la energía que necesita para mantener su cuerpo vivo y activo. Esto a partir de los alimentos y del oxígeno que, a lo largo de complejas reacciones químicas, se va convirtiendo en calor.

La temperatura interna considerada normal, en la que no deben producirse afectaciones dentro del organismo, oscila alrededor de los 37.6°C dentro de un intervalo entre 36°C a 38°C (Imagen 4.6); no

obstante, durante actividades físicas intensas, puede llegar a alcanzar los 40 °C, lo cual, en circunstancias específicas, es necesario para lograr el rendimiento adecuado.

Sin embargo, constituye una condición indispensable, para la salud y para la vida, mantener la temperatura interna dentro de los límites admisibles porque de no ser así, se pueden llegar a producir tensiones que afecten el desempeño de la persona que lo sufra.

Las principales variables que definen la interrelación entre la persona y el ambiente térmico son: la temperatura del aire, la temperatura radiante, la humedad del aire, la velocidad del aire, la actividad desarrollada y la vestimenta.

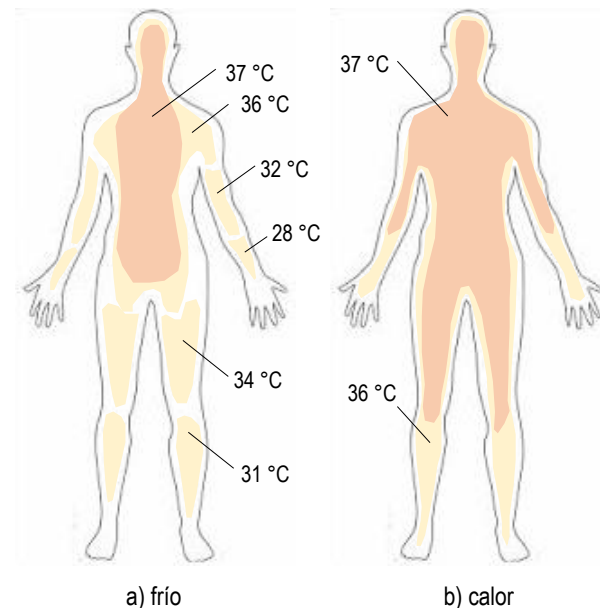


Imagen 4.6.- Elaboración propia a partir de (R. Mondelo, Gregori Torada, Comas Úriz, Castejón Vilella, & Bartolomé Lacambra, 2001). Temperaturas aproximadas del cuerpo humano: a) bajo condiciones de frío y bajo condiciones de calor.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Todo ambiente que provoque tensiones en la persona que activen sus mecanismos de defensa naturales para mantener la temperatura interna dentro de su intervalo normal, constituye una sobrecarga. Las sobrecargas térmicas (por calor o por frío) provocan en el hombre las tensiones térmicas (por calor o por frío) (Imagen 4.7).

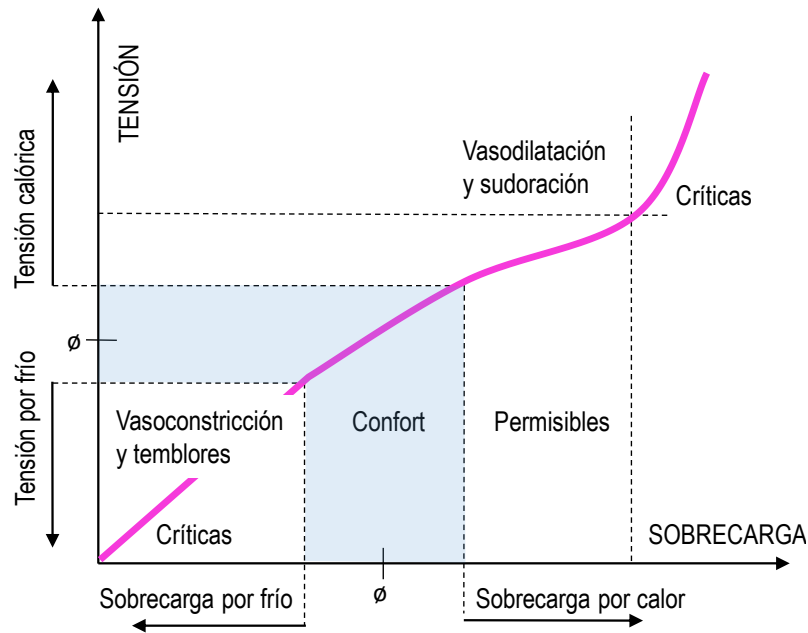


Imagen 4.7.- Elaboración propia a partir de (R. Mondelo, Gregori Torada, Comas Úriz, Castejón Vilella, & Bartolomé Lacambra, 2001). Curva de sobrecarga confort-tensión aproximada de una persona.

Incluso las condiciones permisibles obligan a la persona a efectuar determinados ajustes fisiológicos para alcanzar el equilibrio térmico y conservar su temperatura interna dentro de los límites normales, lo que provoca una tensión térmica más o menos severa, dependiendo

de la sobrecarga térmica existente, la ropa, la actividad y sus características individuales. Estos ajustes, incluso existiendo equilibrio térmico, al menos provocarán molestias psicológicas a pesar de que dichos ajustes protegerán a la persona de la agresión ambiental y no se provocarán daños fisiológicos.

En las condiciones críticas, ya sea por frío o por calor, no hay equilibrio térmico entre el ambiente y el cuerpo humano. En ambiente crítico por frío, la temperatura interna bajará continuamente hasta provocar la muerte si el sujeto permanece expuesto durante un periodo prolongado, mientras que, en el ambiente crítico por calor, la temperatura interna se elevará continuamente con el mismo resultado fatal, si el individuo permanece expuesto durante un tiempo suficiente.

4.4.1.- Modelos de confort térmico / Confort adaptativo

Los modelos de confort térmico representan estudios desarrollados mediante modelos matemáticos y llevados a cabo en cámaras cerradas cuyas condiciones ambientales se encuentran controladas por los investigadores, al mismo tiempo, una serie de voluntarios proporcionan sus sensaciones térmicas al interior de dicha cámara. De esta manera y a partir de los resultados obtenidos, los investigadores indagan sobre el papel que juegan las variables en relación con las respuestas térmicas obtenidas, estas variables pueden ser de índole personal, ambiental, fisiológicas, etc. (Imagen 4.8).

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA


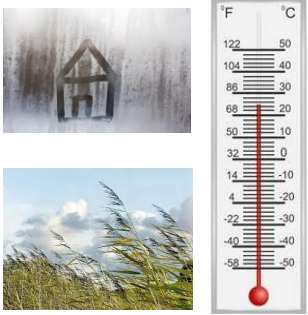

<p>Variables personales</p>	<p>Ejemplo : Vestimenta, tasa metabólica</p> 
<p>Variables ambientales</p>	<p>Ejemplo : Temperatura del aire, temperatura radiante media, velocidad relativa del aire, presión de vapor de agua en el aire.</p> 
<p>Variables fisiológicas</p>	<p>Ejemplo : Temperatura de la piel, tasa de sudoración, humidificación de la piel, conductancia térmica entre el núcleo y la piel.</p> 

Imagen 4.8.- Elaboración propia a partir de (Seiscubos, 2019). Variables que influyen en la sensación de confort humana.

Para definir el confort de las personas, dichos modelos empleados contemplan escalas que comúnmente van de 7 a 9 valores de sensación térmica pasando del nivel considerado como “muy

caliente”, después la temperatura “neutra” o de “confort absoluto” y llegando hasta el nivel “muy frío”. Estas escalas ofrecen una buena referencia para medir y predecir el nivel de confort dentro de los edificios. (Seiscubos, 2019)

Específicamente, el concepto de confort adaptativo tiene su origen en numerosos estudios de campo que, con métodos estadísticos, han desarrollado modelos de confort a partir del registro de sensaciones y del comportamiento de ocupantes regulares en edificios reales.

Los investigadores de Dear y Brager (1998) plantearon que, en términos generales, la adaptación se puede describir como la reducción gradual de la respuesta de un organismo a una estimulación repetitiva del ambiente y que dentro de esta definición general es posible distinguir tres tipos de adaptación ambiental:

- Adaptación comportamental:

Incluye acciones conscientes o inconscientes que las personas realizan para modificar su balance térmico. Entre estas acciones se encuentran las que se podrían definir como personales (quitarse o ponerse una prenda), tecnológicas (encender un ventilador, desplegar una persiana) y culturales (hacer una siesta en horas de altas temperaturas).

- Adaptación fisiológica:

Son cambios en las respuestas fisiológicas, que resultan de la exposición prolongada a determinadas condiciones ambientales y conducen a una disminución gradual del estrés producido por dicha exposición. Se pueden clasificar como adaptación genética (cambios en la fisiología a través de los años para adaptarse al medio) y aclimatación (durante el periodo de vida de la persona).

- Adaptación psicológica:

Se refiere a cambios en la percepción y la respuesta a la información sensorial recibida, esto conectado a experiencias pasadas y expectativas personales. Un ejemplo puede ser el concepto de “habituaación”, que indica que la exposición repetida a un estímulo reduce la magnitud de la respuesta hacia este.

icho en otras palabras, el confort adaptativo resulta relevante porque desarrolla sus modelos de confort tomando en cuenta la capacidad de adaptación de los seres humanos, sobre todo partiendo de la idea de que estas cuentan con diversos recursos para modificar sus condiciones ambientales. Adicionalmente, estos modelos son indispensables para evaluar de manera adecuada el desempeño de edificios que emplean estrategias de climatización pasiva, como el calentamiento y el control solar, la ventilación natural o la elevada masa térmica.

4.4.2.- ASHRAE 55

Con el surgimiento del cambio climático y la presión global para llevar a cabo medidas de eficiencia energética en todos los aspectos de la vida incluyendo la ventilación dentro de los edificios, el confort térmico se ha convertido en un tema ampliamente debatido en los años recientes.

El estándar ASHRAE 55 tiene como objetivo establecer las condiciones térmicas aceptables para los ocupantes de los edificios, de acuerdo con un conjunto de factores asociados al ambiente interior (temperatura, radiación térmica, humedad y velocidad del aire).

El estándar define el confort térmico para edificios con ventilación natural haciendo referencia a la temperatura media ambiente para el modelo adaptativo, ya que este dato se puede obtener a partir del sistema meteorológico. La ecuación para definirla tiene como base la temperatura de neutralidad térmica (aquella en la que, idealmente, el ser humano no siente frío ni siente calor) y se establece en la ecuación 8.

$$T_n = 0.31 * T_{amb} + 17.8 \quad (8)$$

Donde:

T_n = Temperatura de neutralidad térmica.

T_{amb} = Temperatura media ambiente (temperatura exterior)

Una vez obtenida el intervalo de comodidad térmica, se busca obtener el rango admisible tanto para temperatura máxima como la mínima de confortabilidad térmica, y esto se obtiene:

Una vez obtenida la temperatura de neutralidad térmica es posible obtener el intervalo de temperaturas de confort térmico. Para obtener dicho intervalo, a la temperatura de neutralidad térmica de cada mes se restan y suman 2.5 °C para obtener la temperatura mínima y máxima admisibles para considerar a un espacio confortable térmicamente. Esto se presenta en las ecuaciones 9a y 9b.

$$T_{c\text{máx}} = T_n + 2.5 \text{ °C} \quad (9a)$$

$$T_{c\text{min}} = T_n - 2.5 \text{ °C} \quad (9b)$$

Donde:

$T_{c\text{m}\acute{a}\text{x}}$ = Temperatura máxima admisible de confort térmico.

$T_{c\text{m}\text{i}\text{n}}$ = Temperatura mínima admisible de confort térmico.

El rango de tolerancia está determinado dependiendo de la satisfacción del ocupante. Al usar la variable $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$ mencionada anteriormente, se habla de un 90% de aceptación en la percepción de comodidad, mientras que utilizando la variable $\pm 3.5^{\circ}\text{C}$ se habla de un 80% de aceptación de comodidad. En la Imagen 4.9 se expone una gráfica que ejemplifica lo explicado anteriormente.

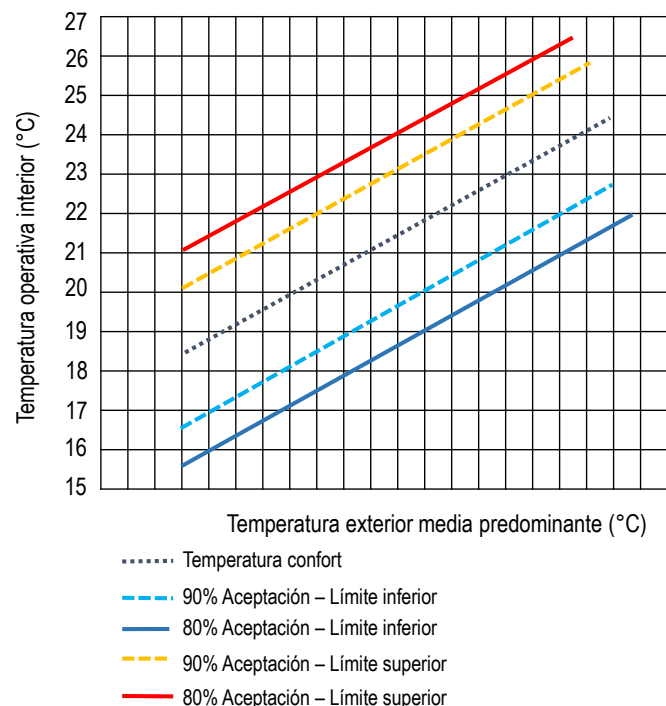


Imagen 4.9.- Elaboración propia a partir de (Estándar ASHRAE 55, 2019)

4.5.- La envolvente en las edificaciones y su rol en la climatización de edificios

Cuando se contemplan las propiedades térmicas de un edificio, se pueden considerar como más importantes, aquellas que hacen referencia a la capacidad de evitar que el calor se escape del edificio en épocas frías o que penetre en épocas cálidas. Para ello, existen materiales más o menos aptos dependiendo sus características termofísicas.

Al hablar de la envolvente del edificio, se refiere justamente a esa piel o capa que está en contacto directo con el ambiente exterior y modula la cantidad de energía transferida entre el ambiente interior y exterior. De esta manera, elegir los materiales constructivos que se desempeñarán como envolvente, será también el medio que permita la interacción entre el interior y el exterior, será el medio para determinar el confort interno, el impacto ambiental e inclusive el consumo energético del edificio en cuestión.

Hoy en día, con una conciencia mundial del avance del calentamiento global causado por la contaminación al igual que la elevación gradual en los costos del agua y la energía, así como el alto consumo de estos durante la construcción, uso y mantenimiento de edificios, se ha buscado el perfeccionamiento de las envolventes para lograr defenderse/ aislarse de las condiciones ambientales adversas, así como disminuir el consumo energético.

Un ejemplo de ello es la implementación de materiales aislantes, los cuales se caracterizan por poseer una baja conductividad térmica y como consecuencia poseen una alta capacidad para evitar la transmisión de calor del exterior al interior y viceversa (pérdida de

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

calor), lo cual se ve reflejado en un óptimo desempeño térmico. Los materiales aislantes suelen ser ligeros, lo cual facilita su instalación en los espacios requeridos que pueden ser paredes, por debajo de los pisos o en techumbres.

A continuación, en la Tabla 4.2, se presentan algunos de los materiales aislantes más utilizados en el ámbito de la construcción, su uso y sus propiedades termofísicas.

Material	Definición / Características	Foto	Densidad (kg/m³)	Conductividad térmica (W/mk)	Calor específico (J/kgK)
Vidrio espumado	Material de espuma de vidrio poroso. Sus ventajas incluyen su peso ligero, alta resistencia y sus propiedades de aislamiento térmico y acústico.		150-230	0.070-0.093	800-1000
Espuma de urea-formaldehído	Constituye un gran aislamiento sintético. Se trata de una espuma fácilmente inyectable en paredes con una manguera.		10	0.035-0.04	1500
Fibra de madera	Material aislante desarrollado para la aplicación de insuflado en cámaras de aire, ya sean fachadas o falsos techos.		30-270	0.04-0.09	1600-2100
Tabla de corcho	Placas utilizadas para el aislamiento de techos, suelos y paredes. Proporciona resultados como aislante térmico, acústico y vibratorio.		100-220	0.045-0.060	1700-2100
Lana mineral	Son placas acústicas contra incendio. Fabricadas con roca basáltica natural y material reciclado. Utilizadas para la industria de los techos.		20-200	0.035-0.045	600-1000

Tabla 4.2.- Elaboración propia con base en (Pfundstein, Gellert, Spitzner, & Rudolphi, 2007).

4.6.- Arquitectura sostenible

Hoy en día, la abundancia de recursos, el bajo costo de la mano de obra, conjunto con escasas regulaciones ambientales, han elevado la producción de materiales constructivos al extremo. Esto ha reducido la capacidad de los diseñadores actuales para entender los impactos de la producción de materiales constructivos o siquiera saber de dónde vienen. De esta manera, los agregados pueden viajar en tren desde una cantera que se encuentra a 300 kilómetros o haber visitado 3 continentes antes de llegar al sitio de construcción (Calkins, 2009).

La generación de nuevos edificios conlleva muchos procesos que a veces no se consideran importantes, pero representan una suma significativa de pérdida de recursos. En la imagen 4.10 se explica gráficamente y a grandes rasgos el proceso de vida de los materiales.

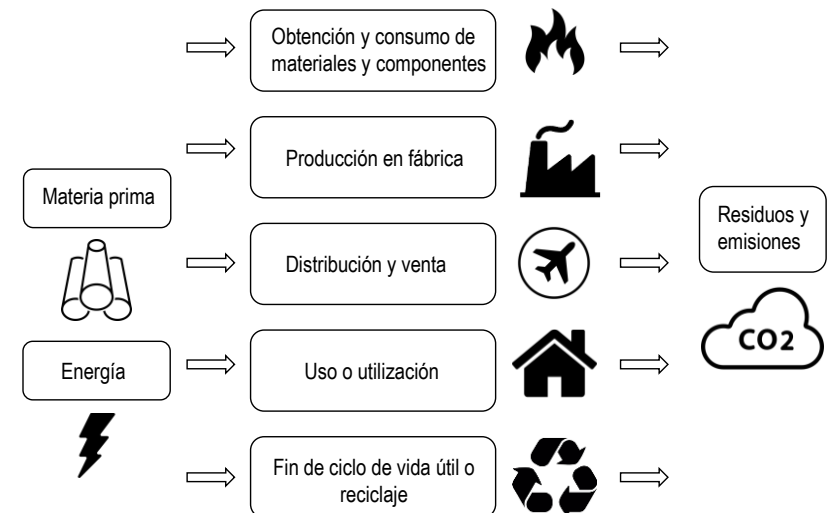


Imagen 4.10.- Elaboración propia a partir de (Álvarez Gallego, 2015).

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

En 1973, un factor determinante exigió cambios en la manera de producir. La crisis energética de ese año afectó a países como Estados Unidos y Europa Occidental, que tuvieron que buscar medidas para enfrentar el desabasto de petróleo que afectó seriamente la actividad económica. Dentro de las medidas que tomaron, una muy importante fue el ahorro energético que abarcó muchos campos y uno de los más importantes fue la arquitectura.

Así, nace la arquitectura sostenible y se posiciona como aquella que toma en cuenta el impacto que generará el edificio a lo largo de todo su ciclo de vida, desde su construcción, pasando por su uso y su disposición final. Considera los recursos que va a utilizar, los consumos de agua y energía de los propios usuarios y finalmente, qué sucederá con los residuos que generará el edificio en el momento que se derribe. Su principal objetivo es reducir estos impactos ambientales y asumir criterios de implementación de la eficiencia energética durante su ciclo de vida, todo ello sin olvidar los principios de confortabilidad y salud de los usuarios.

Para lograr esto, relaciona de forma armónica las aplicaciones tecnológicas, los aspectos funcionales y estéticos y la vinculación con el entorno natural o urbano, para lograr hábitats que respondan a las necesidades humanas en condiciones saludables, sostenibles e integradoras.

En la tabla 4.3 se muestran algunos de los aspectos más básicos que toma en cuenta la arquitectura sostenible, esto incluye tanto aspectos de estructura como factores energéticos.

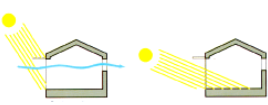
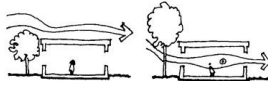
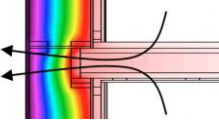

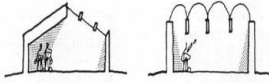
ARQUITECTURA SOLAR PASIVA Y ACTIVA		Consiste en repensar el diseño de la casa integralmente para un uso eficiente de la energía solar. No se requiere para ello utilizar sistemas mecánicos.
VENTILACIÓN NATURAL DEL EDIFICIO		Toma en cuenta corrientes naturales que interactúan con la casa: ventanales, patios, etc. Para el mejor rendimiento hay que hacer circular el aire de la zona cálida (sur) a donde no llega el sol (norte).
PUENTES TÉRMICOS		Son los puntos débiles por donde se producen enfriamientos. Usualmente se encuentran en subsuelo, cubiertas y fachadas. Hasta un 40% de energía puede perderse por dichos puntos.
ESTANQUEZAD DEL AIRE		Una buena parte del consumo de energía en las viviendas estriba en la falta de un buen aislamiento térmico. Los materiales aislantes son una buena solución a esto.
ILUMINACIÓN		Haciendo un buen uso de la luz natural, directa, o reflejada, se evitarán grandes consumos energéticos generados por focos, circuitos y reguladores.

Tabla 4.3.- Elaboración propia a partir de (García & Amills, 2006)

4.7.- El clima en México

La gran amplitud altitudinal de México, su ubicación en ambos lados del Trópico de Cáncer y la influencia oceánica debido a la estrechez de la masa continental, son algunos de los factores determinantes más significativos del clima que prevalece en el país y de su diversidad. El Trópico de Cáncer, además de ser una línea significativa desde el punto de vista térmico, marca también de forma aproximada la franja de transición entre el clima árido y semiárido de la zona anticiclónica de altas presiones, que se presenta hacia el

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

norte, y el clima húmedo y semihúmedo influenciado por los vientos alisios y por los ciclones, hacia el sur del país.

Agregado a esto, la diversidad topográfica, unida a las diferencias determinadas por la latitud y la altitud, dan como resultado un clima con un gran número de variantes. A pesar de esto, sin embargo, es posible clasificar a México dentro de 3 climas que constituyen los más predominantes y encontrados a lo largo del país: tropical lluvioso, templado y seco (Imagen 4.11).

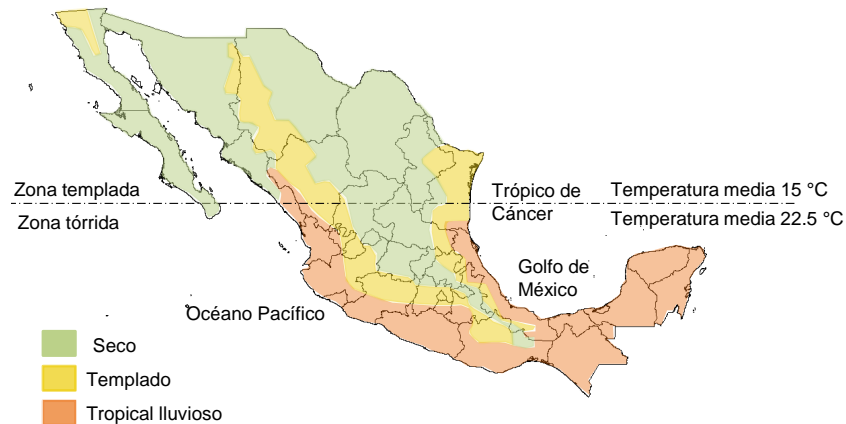


Imagen 4.11.- Elaboración propia a partir de (Prieto & Fernández, 1994)

El clima tropical lluvioso se caracteriza por el calor y la elevada humedad que dificulta la transpiración. Ocupa las franjas entre la costa y las Sierras Madres Occidental y Oriental y todo el sureste desde el Istmo de Tehuantepec. La franja del Pacífico se inicia a la altura de Culiacán, Sinaloa, y la del Golfo a la altura de Ciudad Mante, Tamaulipas.

Esta región climática es muy amplia: por el lado del Pacífico se adentra en los estados de Michoacán, Guerrero, el sur del Estado de México y Morelos. Con excepción de Tabasco y el norte, donde las lluvias caen durante todo el año, el resto es seco durante invierno y la humedad disminuye.

El clima seco se caracteriza por la baja humedad, la poca lluvia, las altas temperaturas durante el día y las bajas temperaturas durante la noche. Se ubica principalmente en las regiones del Trópico de Cáncer y en algunas regiones al sur de este (ver Imagen 1). Abarca Zacatecas, parte de San Luis Potosí y Querétaro, el noreste de Jalisco y el Valle del Mezquital (Hidalgo). En el norte del país en los estados de Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas se registra la radiación solar más intensa, al tener cielo despejado casi todo el año y carencia de lluvias.

El clima templado se ubica principalmente en las regiones montañosas del país y en los valles altos, conocidos como Altiplano Mexicano. Se caracteriza por temperaturas medias anuales que rondan los 15 °C y presenta precipitaciones de entre 500 mm y 1.000 mm. Las regiones con clima templado tienen veranos que no son demasiado cálidos e inviernos que no llegan a ser muy fríos por lo tanto este clima ofrece condiciones confortables para la actividad humana.

4.8.- La vivienda vernácula

La vivienda vernácula nace en su forma básica de la necesidad primaria de resguardo de los fenómenos atmosféricos recurrentes en el entorno natural, es una arquitectura libre de cualquier pretensión o

simulación de alguna tendencia estética; en cambio, su construcción se basa en una cuestión para satisfacer los principios de primera necesidad como resguardo y protección.

La vivienda vernácula en su construcción depende también de factores como el sitio de emplazamiento, los recursos disponibles y el microclima del lugar, además es respetuosa del entorno y es coherente con la realidad social de los individuos. En otras palabras, es una arquitectura que se adapta al medio.

Al estudiar las viviendas vernáculas alrededor del mundo, resulta notable que existe una vasta variedad; esto se debe a que ningún lugar en el mundo es igual a otro. Las variaciones del espectro climático, la cultura y la topografía son tres factores considerados determinantes, pues a partir de ellos se generan un sinnúmero de combinaciones que derivan en lo que se conoce como “tipologías”.



Imagen 4.12

Imagen 4.13

Imagen 4.14

En la región del Ártico, por ejemplo, en donde se presenta un clima polar (temperaturas por debajo de los 0°C), la vivienda vernácula característica es el “iglú”; esta posee una forma semiesférica y se fabrica enteramente de hielo (Imagen 4.12).

En Asia Central, existen las viviendas utilizadas por los pueblos nómadas en las zonas esteparias, las cuales han sido utilizadas desde la Edad Media. Estas viviendas “provisionales” se asemejan a una

tienda de campaña protegida por una gruesa cubierta y un entramado de madera que funge como estructura principal, la techumbre se compone también de vigas de madera dispuestas de manera circular, dando una forma redondeada al techo (Imagen 4.13).

En Chile, por ejemplo, nacieron las viviendas llamadas “palafitos”, las cuales están construidas enteramente de madera, pero con la particularidad de que están construidas sobre cuerpos de agua tales como lagunas o lagos; esto se vuelve posible gracias a las vigas de madera tipo pilotes que las sostienen. Los primeros palafitos datan de finales del siglo XIX en puertos de la isla Chiloé (Chile). En esta época los campesinos agricultores se adueñaron de terrenos a orillas del mar donde podían pescar cuando bajaba la marea y además cultivar cerca dada la cercanía de estas viviendas con la tierra (Imagen 4.14).

4.8.1.- Características

Algunas de las características inherentes de la vivienda vernácula:

- Son testimonio de la cultura popular en donde el uso de materiales y sistemas constructivos son producto de una buena adaptación al medio.
- A través de su construcción se busca la creación de un microclima interior con el objetivo de crear un espacio confortable.
- En la mayoría de los casos su construcción es aprendida mediante el conocimiento empírico evolucionado de generación en generación resultando en una tradición constructiva, reproducida y conservada viva por las nuevas generaciones.
- Sus particularidades estructurales y de funcionamiento difieren entre un lugar y otro y entre una cultura y otra.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

- Responde a una protección acorde al clima local y sus materiales constructivos suelen ser los recursos existentes en el entorno.

4.8.2.- Vivienda vernácula en México

México es un país rico en cultura y tradiciones, su clima se caracteriza por variar mucho de un lugar a otro al igual que el paisaje. Por esta misma razón, la vivienda vernácula o vivienda campesina es un ejemplo en el que se ven reflejados toda la gama de factores que la convierten en una tipología única en el mundo y cuyas características se adaptan a las condiciones del sitio.

La vivienda vernácula actual en México es el producto de dos factores que influyen en sus características: una histórica y otra natural.

La influencia histórica comprende el resultado de dos tradiciones culturales en la vida rural del país: la indígena precolombina y la española. Por otro lado, la influencia natural considera dos elementos: el clima y los recursos naturales.

A continuación, se describirán algunas de las tipologías y características de las viviendas más comunes que se encuentran dispersas a lo largo del país según las regiones climáticas antes mencionadas en el capítulo referente al clima en México.

- Clima tropical lluvioso

Condicionadas por el clima tropical, las casas de esta región, rectangulares, se levantan principalmente alargadas y se orientan hacia los vientos dominantes para ser más frescas, las puertas y

ventanas se colocan opuestas, a fin de obtener una ventilación cruzada en la mayor parte del área de la casa.

En el clima tropical lluvioso es necesario un tipo de techo que permita el rápido escurrimiento de agua de lluvia. Los techos se construyen inclinados, de dos y cuatro aguas, o cónicos con una inclinación aguda. Cuando son de paja, zacate, palma o tejamanil, la pendiente y por consiguiente la altura del techo, es mayor que cuando se usa teja. Los aleros son amplios para proteger los muros de la erosión del agua y evitar o disminuir la insolación. En la Imagen 4.15 se muestran dos ejemplos de viviendas vernáculas propias del clima tropical lluvioso.



“Casa Huave”: Situada en San Mateo del Mar, Oaxaca.

Sistema constructivo compuesto por marcos rígidos (troncos de palma) como estructura primaria y una cubierta formada por largueros y diagonales articuladas en sus apoyos. Techumbre de palma.

“Casa Maya”: Situada en Muxucuxcah, Yucatán .

Sistema a base de marcos rígidos de madera, conformado por horcones y traveses de madera, como estructura principal, muros de bahareque y techumbre cubierta con palma de huano colocado en hiladas.

Imagen 4.15.- Elaboración propia con información de (Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales, 2019)

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

La altura de la techumbre suele ser alta en este clima, pues permite acumular mayor volumen de aire caliente en las partes altas, con la consecuente mayor frescura y comodidad en las partes bajas.

Entre las viviendas de clima tropical un ejemplo es la casa redonda de techo cónico, hecha con muros de varas, otate o bahareque y techo de palma; tiene la ventaja de que cualquiera que sea la dirección del viento, siempre se mantiene ventilada. Sus muros curvados no presentan superficies perpendiculares a los rayos del sol, por lo tanto, se calienta menos.

- Clima seco

Como consecuencia de las características del clima seco, en estas regiones las casas son generalmente rectangulares, con los lados menores orientados al oriente y al poniente, con techos planos muy altos, generalmente a más de 3 metros de altura, esto con la finalidad de presentar la menor superficie perpendicular a los rayos directos del sol y almacenar suficiente aire sombreado en el interior.

Los muros son gruesos y por lo general dobles, para que el calor radiante recibido en la pared exterior no penetre al interior de la vivienda. Las ventanas son pequeñas y escasas, para apenas permitir la entrada de la radiación solar directa e indirecta en el interior, así como para evitar el paso de aire caliente y de la arena acarreada por los intensos vientos. El sistema constructivo suele ser mampostería de piedra o ladrillo, o bien adobe mezclado con los materiales anteriores.

En la Imagen 4.16 se muestran dos ejemplos de viviendas vernáculos propias del clima seco.



Vivienda vernácula situada en Casas Grandes, Chihuahua.

Construcción con muros gruesos (40-60 cm) a base de tierra apisonada. Por dentro la vivienda tiene una doble altura para lograr una mayor frescura. Las ventanas son chicas, impidiendo así la incidencia directa del sol durante el día.



Vivienda vernácula situada en Huinalá, Nuevo León .

Construcción a base de sillares de piedra. Techumbre de terrado que se soporta mediante morillos o viguería de madera. Se aprecian las pequeñas ventanas y las puertas fabricadas con madera de mezquite.

Imagen 4.16.- Elaboración propia con información de (Arquizy, 2020) y (Garza, 2019).

- Clima templado

Las casas características de estas regiones ofrecen una gama más amplia de soluciones, pues el clima ofrece condiciones confortables para la actividad humana. Las formas predominantes son rectangulares y cuadradas, estas últimas, generalmente más frecuentes en zonas frías. Los techos predominantes son los de 1 agua, preferentemente hacia la fachada, pero desde luego en las regiones con microclimas más lluviosos, los techos son de 2 y 4 aguas. Los muros son gruesos para atenuar la radiación. Las ventanas son en mayor número y más amplias que en el clima seco, aunque con

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

frecuencia se remeten y se protegen con aleros y guardapolvos que atenúan la radiación y protegen de las lluvias.

En la Imagen 4.16 se muestran dos ejemplos de viviendas vernáculos propias del clima seco.



Vivienda vernácula situada en Tamazulápam del Progreso, Oaxaca.

Sistema a base de muros de carga de piedra blanca labrada con machete, arcilla blanca, agua, vigas, largueros, tablas de madera o ladrillo y teja de barro. El techo es un sistema de vigas de madera de corazón de ocote y teja de barro.

Vivienda vernácula situada en Xalatlaco, Estado de México .

Sistema constructivo con muros de adobe de 35 x 10 x 45 cm. Las puertas y ventanas se generan a través de marcos de madera. Techumbre sostenida con morillos de madera y recubierta con teja de barro. Los aleros sobresalen para proteger los ladrillos de adobe.

Imagen 4.17.- Elaboración propia con información de (Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales, 2019) y de la autora.

4.8.3.- Vivienda vernácula en Oaxaca

En el estado de Oaxaca se definen 8 regiones que se diferencian por su contexto físico, biodiversidad, tradiciones, costumbres y patrimonio edificado. En la Imagen 4.18 se muestra esta división.



Imagen 4.18.- Obtenida de (Meixueiro Nájera, 2016).

Ya que el patrimonio es muy extenso, se hará un análisis somero de algunas de las tipologías encontradas en algunas de las regiones con mayor riqueza cultural dentro del estado.

La región del Istmo, por ejemplo, se trata de la zona más angosta entre los dos océanos (Pacífico y Atlántico). Es una zona rica en petróleo y recursos maderables. También es una de las regiones con mayor presencia indígena en el país. En ella conviven huaves, zapotecos y

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

zoques. La región completa se encuentra en una zona de clima tropical cálido.

Las viviendas de esta región poseen en su mayoría un patio interior utilizado como convivencia y descanso. Los patios, terrazas, corredores, pórticos y pérgolas se ubican como sitios de descanso amueblados con hamacas, mecedoras, butacas y tumbonas, generalmente ubicadas en sitios con ventilaciones cruzadas que provocan circulaciones de aire que invitan al descanso.

Los espacios privados son los dormitorios y los servicios sanitarios. Las habitaciones públicas son el estar, la cocina y el comedor, separados. La cocina se ubica por lo general en el exterior de la vivienda para evitar calores extremos a causa del uso del estufón, anafre o comal.



Imagen 4.19.- Obtenida de (Jiménez Vera, 2009). Detalles de arquitectura tradicional en Santo Domingo Tehuantepec, Oaxaca.

Es usual que los vanos de puertas y ventanas se protejan con un textil a manera de mosquitero que detiene la fauna nociva del lugar. Las ventanas y puertas, usualmente de madera, no utilizan vidrio para filtrar la luz, pues generalmente se mantienen abiertas de día y noche para ventilar las habitaciones, siempre protegidas de la lluvia por aleros, pórticos o pérgolas que también sombrean. Con el objetivo de lograr una adecuada iluminación y ventilación, la vivienda regularmente se emplaza sobre un eje norte-sur, para aprovechar los vientos dominantes de la zona.

Otro caso de tipología vernácula, ubicado en la región de los Valles Centrales de Oaxaca, son las viviendas de San Pedro Yucunama, un poblado ubicado en la Mixteca Oaxaqueña a una altura de 2442 msnm. En esta región donde la temperatura media anual varía entre 14-18°C, y con recursos de bosques maderables en el entorno, el material principal son los morillos de madera de pino.



Imagen 4.20.- Obtenida de (De Leo, 2015). Detalle de cimentación de piedra y muros de troncos. San Pedro Yucunama, Oaxaca.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

El sistema constructivo se basa en troncos de madera sin corteza que alcanzan medidas variables según el tamaño de la habitación. Los morillos se disponen de manera horizontal en las esquinas por medio de muescas, intercalando así la distribución ascendente de los 4 muros de la habitación. Al llegar al límite superior del muro, se disponen vigas de madera que se distribuyen a lo largo de la habitación y sobre ellas se desplanta la cubierta a dos aguas. El espacio entre las vigas y la techumbre, generalmente es ocupado como tapanco, utilizado principalmente para almacenamiento de granos que se mantienen a salvo de la humedad y de roedores gracias a la altura.

San Pedro Ixcatlán, ubicado en la región de Papaloapan es un poblado que va en sucesivo aumento sobre terreno que previamente era ocupado por pastizal. Su rango de temperatura es de 18-26°C y está clasificado como clima cálido húmedo con lluvias todo el año.

Las viviendas tradicionales se caracterizan desde el punto de vista espacial, por ser de tipo modular, es decir, están compuestas por locales con funciones diferentes, separados por áreas de circulación al aire libre. Dichas funciones suelen ser: cocina, dormitorio y almacén; y, por otro lado, el cuarto sanitario, separado del conjunto, el cual es un cubículo con letrina.

Desde el punto de vista constructivo, los locales en cuestión tienen firmes de tierra apisonada, muros con varas o cañas de otate dispuestas en forma horizontal, sin ventanas. Las cubiertas están hechas a base de entramados de morillos amarrados con cuerda de fibra vegetal y recubiertos con guano de la región. La forma de la cubierta, a dos aguas, con pendientes pronunciadas, genera un espacio que se utiliza como tapanco en el que se guardan utensilios y materias primas.



Imagen 4.21.- Obtenida de (Aguirre Pliego, 2009).

Ya que Oaxaca posee una extensión territorial extensa, se generó un mapeo donde se pueden distinguir los principales materiales constructivos utilizados dependiendo la región (Imagen 4.22).

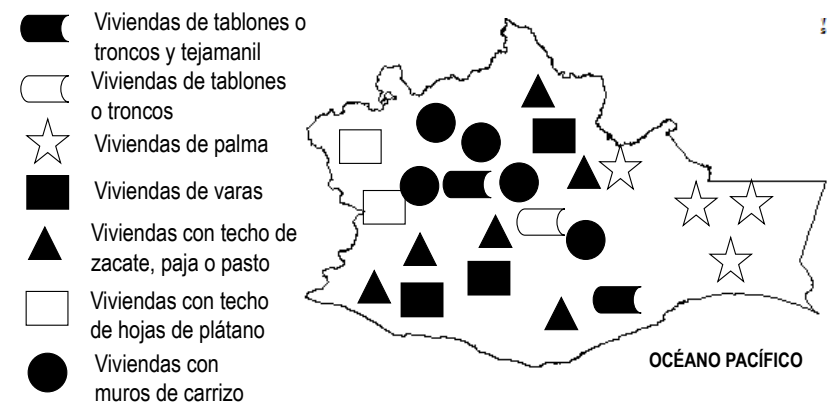


Imagen 4.22.- Elaboración propia con datos de (Prieto & Fernández, 1994). Tipologías vernáculas en el estado de Oaxaca.

4.9.- Adobe

4.9.1.- Descripción

El adobe es uno de los sistemas constructivos vernáculos más utilizados, no sólo en México, sino también alrededor del mundo. Una de las ventajas más visibles parte de su elaboración, pues las piezas tienen la posibilidad de ser prefabricadas, almacenadas y transportadas para su uso posterior. Esto constituye una cualidad que separa al adobe de muchos sistemas constructivos vernáculos en los que el trabajo debe llevarse a cabo in situ. La técnica consiste básicamente en el moldeado de bloques de barro de dimensiones que varían según la tradición local. Estos bloques se secan al sol y posteriormente permiten construir estructuras portantes como muros, arcos, bóvedas o cúpulas por hiladas sobrepuestas.



Imagen 4.23.- Obtenida de (Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales, 2019). Ladrillos de adobe en proceso de secado al aire libre.

Los adobes son elaborados con una mezcla de arcilla, arena y agua, aunque generalmente con el objetivo de reducir las fisuras de retracción que ocurren en el proceso de secar la mezcla húmeda al sol, se le agregan fibras vegetales finas como puede ser la paja.

Para la elaboración de las piezas se coloca el molde o gavera, previamente humedecido, sobre el piso del tendal que ha sido rociado con arena. La mezcla hidratada y en estado plástico se arroja con fuerza dentro del molde y se distribuye con la mano o los pies repartiéndolo perfectamente hacia las esquinas hasta el llenado total. Posteriormente se enrasa la superficie con la mano humedecida o con la ayuda de una regla de madera. Finalmente se saca la gavera cuidando levantarla verticalmente y con rapidez para evitar la deformación de las aristas. Después, los bloques se dejan a la intemperie para lograr un secado homogéneo. Dependiendo de las condiciones del sitio, se podrán poner de canto para que se ventilen adecuadamente en 3 o 4 días, y en un par de semanas se podrán almacenar, cuidando que tengan la separación suficiente para que el aire circule entre ellos (Guerrero Baca L. F., 2007).

Posterior a la fabricación de bloques, se inicia la construcción. Para la cimentación se excavan zanjas en lo que será el perímetro de la vivienda con una profundidad mínima de 40 cm que ha sido previamente compactada para recibir la cimentación; esta suele construirse con las mismas piedras del lugar y a veces reforzada con una mezcla de concreto. Estos cimientos se levantan un poco por encima del nivel del suelo para proteger los muros de la humedad y la lluvia.

Los ladrillos deben colocarse en hiladas superpuestas entre sí unidas con una mezcla que puede elaborarse con barro del sitio. Al llegar los muros a la altura deseada, se colocarán las vigas o morillos de madera

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

apoyados en los muros para recibir la techumbre que regularmente puede ser carrizo, tejamanil, bilihuana o polines de madera que sostienen la teja de barro o palma, dependiendo la zona.

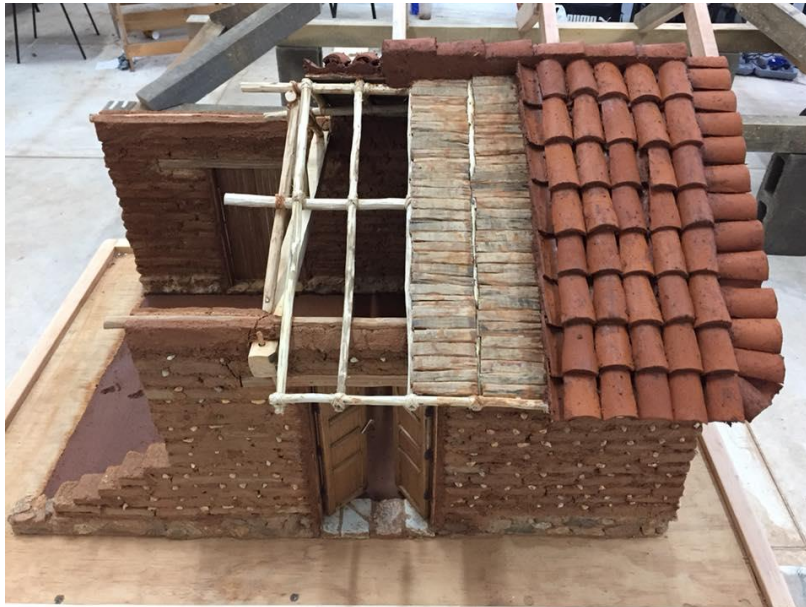


Imagen 4.24.- Obtenida de (Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales, 2019). Maqueta de detalles constructivos. Vivienda vernácula con muros de adobe

4.9.2.- Utilización

El adobe es una de las técnicas de construcción más antiguas y populares del mundo. Su construcción se extendió a lo largo del mundo, sin embargo, pueden encontrarse ejemplares de viviendas de

adobe principalmente en las zonas climáticas cálido-secas, subtropicales y templadas. Su existencia posee registros que datan del 8000 a.C. en la región de Turquestán (Asia Central) y en Asiria (Asia Occidental) del año 4000 a.C. (Minke, 1994).

En las antiguas culturas poseían técnicas para la utilización de adobes en la construcción de bóvedas y cúpulas. Ejemplos de esto son visibles aún en países como Afganistán e Irán. En América del Norte, las viviendas de adobe ya eran utilizadas en el Pueblo de Taos, Nuevo México de aproximadamente 1000 años de antigüedad (Imagen 4.25), donde los pobladores utilizaban la tierra del sitio, el agua de los ríos cercanos y la paja de sus cosechas de cereales para la construcción de bloques.



Imagen 4.25.- Obtenida de (Hideaway Report, 2018). Pueblo de Taos, Nuevo México.

Otro ejemplo es la ciudad de Shibam, en Yemen (África), la cual se encuentra construida enteramente en adobe. Ahí, los edificios más

altos alcanzan las 16 plantas y una altura de hasta 40 metros y datan del siglo XV.

La utilización del adobe es milenaria y, sin embargo, su utilización como la conocemos hoy en día, fue estudiada y rediseñada hasta la década de los años 30 del siglo XX por el arquitecto egipcio Hassan Fathy, nacido en 1900. El arquitecto integró el conocimiento de la situación económica de las zonas rurales de Egipto con la arquitectura tradicional y las técnicas de diseño urbanístico. También fue él quien capacitó a los habitantes del lugar para hacer sus propios materiales y construir sus propias viviendas.

Las condiciones climáticas, las consideraciones de salud pública y las habilidades de los oficios tradicionales también determinaron su estilo. Además de esto, Fathy realizó estudios para la obtención de ventilación pasiva a través del diseño de la vivienda y los patios.

En México, las viviendas de tierra han sido utilizadas desde la antigüedad, sin embargo, la convergencia de los conocimientos de las civilizaciones prehispánicas con la tradición constructiva traída de Europa durante la época virreinal, generó una vasta tipología edilicia en la que haciendas, templos, conventos, y la mayor parte de la arquitectura doméstica conformaron un valioso patrimonio cultural.

Las viviendas construidas en adobe se pueden encontrar a través de todo el país, desde zonas con climas desérticos, cálidos, subtropicales hasta los templados y semifríos. Hasta hace una o dos generaciones era frecuente que las comunidades tradicionales habitaran las viviendas de adobe que habían heredado de sus ancestros y se procuraba su mantenimiento. Sin embargo, a pesar de su valor histórico y cultural, han ido desapareciendo progresivamente.



Imagen 4.26.- Fotografía tomada por la autora. Vivienda vernácula con muros de adobe en Xalatlaco, Estado de México.

4.10.- Bahareque

4.10.1.- Descripción

La técnica conocida como bahareque, bajareque, quincha, enjarre o embarrado, es un sistema mixto, en el que la mayor parte de los esfuerzos constructivos que recibe la tierra son absorbidos por una estructura hecha de material vegetal que funciona como un esqueleto.

Existen muchas variantes del sistema constructivo dependiendo la región. La técnica utilizada en muros no suele tener tantas variables,

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

pero el tipo de techumbre para este sistema constructivo, por ejemplo, puede observarse plano o inclinado, recubierto con teja de barro o con hoja de palma, todo dependiendo del clima del lugar y los recursos disponibles en la zona. De esta forma, para describir el sistema, se tomará como ejemplo una vivienda existente en Ixtepec, en el estado de Oaxaca.

Lo primero a realizar para el armado de la estructura principal es colocar horcones (troncos largos de madera en forma de "Y" que se utilizan como principal soporte estructural). Estos varían en dimensión, pero regularmente es 30-45 centímetros de diámetro aproximadamente. Antes de hincar los horcones se ponen al fuego para quemar las puntas que estarán bajo tierra para que resistan la humedad. Posterior a esto, se clavan al suelo en su sentido vertical en puntos estratégicos para asegurar la estabilidad estructural de la vivienda (funcionan como columnas). Ver Imagen 4.27.



Imagen 4.27.- Obtenida de (Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales, 2019). Vivienda de bahareque en Ixtepec, Oaxaca.

Una vez colocada la estructura vertical, se colocan las soleras (troncos largos de madera de menor diámetro que los horcones). Estas serán distribuidas y colocadas horizontalmente por encima de los horcones hasta cubrir la estructura en el sentido largo y amarradas con mecahilo en forma cruz de manera alternada uniéndolas a los horcones.

Sobre la solera principal que descansa sobre los horcones mayores (sentido largo de la vivienda) se colocan los morillos que cubrirán toda la estructura superior para sostener la techumbre a dos aguas. Estos morillos son unidos entre ellos en los puntos de encuentro (cumbre) con clavos de madera y amarrados además a la solera principal. La separación entre morillos es de aproximadamente 40-50 centímetros dependiendo de su grosor que es entre 8 y 12 centímetros.

Finalmente, por encima de las soleras y morillos, se colocarán varas de madera de aproximadamente 3-5 centímetros de diámetro de manera continua y amarradas entre sí en posición perpendicular con respecto a los morillos, generando con esto una superficie sobre la cual se asentarán las tejas de barro pegadas con una mezcla a base de barro y arena.

Para construir los muros de cierre, se hincan entre los horcones secundarios postes de madera de aproximadamente 10 centímetros de diámetro y separados a cada 50 centímetros. La altura de estos llega a la parte baja de la solera de los horcones menores a la cual se amarran. Lo más común en este sistema constructivo, tratándose de los muros, es la elaboración de una red de varas, carrizos o bambúes entretejidos al que llaman "jaulilla".

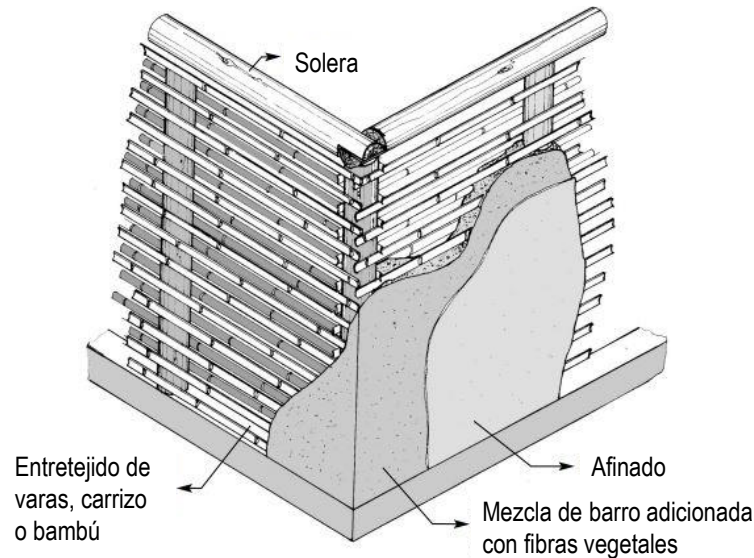


Imagen 4.28.- Obtenida de (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002). Detalle de estructura del muro de vivienda en bahareque.

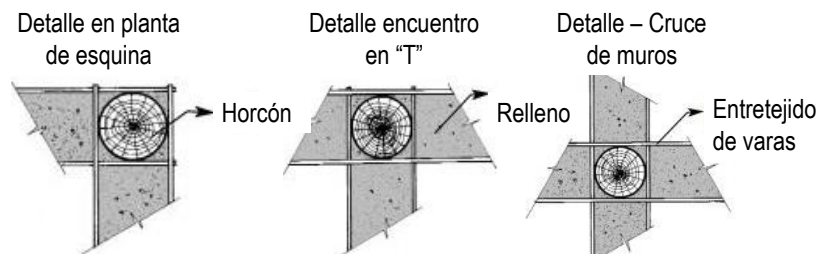


Imagen 4.29.- Obtenida de (Carazas Aedo & Rivero Olmos, 2002). Detalle en planta de los muros.

Finalmente, para el cierre de los muros, se utiliza una mezcla de arcilla comúnmente adicionada con pasto, paja o alguna otra fibra natural. Esta mezcla se coloca en un estado pastoso sobre las varas de

madera por ambos lados de la casa hasta cubrir la totalidad de las paredes.

4.10.2.- Utilización

Es muy probable que el origen de la arquitectura de bahareque se remonte a la época en que se inició la sedentarización de las comunidades hace más de siete mil años. Paulatinamente y de manera paralela a la evolución de la cestería, fue mejorando la tecnología de las uniones materiales de sus chozas mediante el entretejido y amarre de elementos vegetales. En el momento en que el hombre se estableció para cuidar sus cultivos y rebaños, estuvo en posibilidad de mejorar las técnicas constructivas de sus viviendas. Seguramente uno de sus primeros pasos fue la adición de barro en la superficie de sus muros entramados para lograr su mejor hermeticidad, generándose así la técnica de bahareque.

Hoy en día la arquitectura de bahareque sigue siendo ampliamente utilizada sobre todo en las costas y regiones tropicales, especialmente en zonas sísmicas, debido a que, la flexibilidad de su conjunto presenta un comportamiento muy adecuado ante empujes y movimientos no axiales. Además, este sistema genera estructuras sumamente livianas que para el caso de terrenos con baja capacidad de carga resulta una excelente solución. Por otra parte, la esbeltez de las paredes permite un óptimo aprovechamiento de los espacios interiores (Guerrero Baca L. , 2007).

En México, el uso del bahareque se ha encontrado en los estados de Veracruz, Jalisco, Oaxaca y en regiones del centro y sureste del territorio del país con variantes que usan madera, tierra, carrizo y bambú.

5.- Metodología

El desarrollo de este trabajo fue efectuado en el Laboratorio de Entornos Sostenibles (LES) de la Facultad de Arquitectura, el cual, cabe destacar, tiene como objetivo el estudio e investigación de los espacios arquitectónicos para su contribución al desarrollo sostenible de la humanidad. Además, en relación a la investigación, su objetivo es crear conocimiento útil para la concepción e implementación de nuevas estrategias de diseño dentro de espacios y edificios eficientes energéticamente saludables, en equilibrio con su entorno y sostenibles.

El primer punto para dar paso a la investigación consistió en la elección de los casos de estudio a utilizar. En este caso, se seleccionaron 3 viviendas ya existentes en el estado de Oaxaca, las cuales ya habían sido previamente visitadas por un grupo de alumnos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales dirigidos por la maestra Ángeles Vizcarra de los Reyes. Las viviendas en cuestión, ubicadas en los municipios oaxaqueños de Ciudad Ixtepec, Santo Domingo Yanhuitlán y San Jerónimo Tlacoahuaya, son todas construcciones vernáculas y fungieron como los 3 casos de estudio base para este trabajo.

Dado que el objetivo del trabajo es desarrollar un análisis comparativo del rendimiento en confort al interior de las viviendas vernáculas y la comparación de estos resultados con los datos de confort obtenidos a partir de viviendas de materiales industrializados, se procedió a tomar como partida los 3 casos de estudio base para diseñar 2 viviendas imaginarias más por cada sitio, es decir, conservando la forma original de la vivienda vernácula (dimensiones, altura, ubicación de vanos) y la forma original de la techumbre (dimensiones, inclinación,

pendientes), pero se modificarán los materiales constructivos, tanto en muros como en techumbre.

Para determinar los materiales constructivos de las viviendas imaginarias, se utilizó la plataforma Web de Google Street View con el objetivo de estudiar la imagen urbana de las zonas de estudio y de esta manera determinar los sistemas constructivos industrializados mayormente utilizados.

Una vez teniendo un total de 9 viviendas para la evaluación de confort térmico (3 por cada sitio), se procedió al dibujo computarizado de estas utilizando como herramienta el software de dibujo "Autocad". Posteriormente estos archivos de dibujo digital fueron importados al software "DesignBuilder" para su modelación e ingreso de datos. Una vez teniendo las 9 viviendas modeladas tridimensionalmente en DesignBuilder, los archivos fueron importados al programa "EnergyPlus" para dar inicio a las simulaciones térmicas.

Obtenidos los resultados por cada caso de estudio, estos procedieron a ser graficados, cuantificados y analizados.

5.1.- Características climáticas y medio físico natural de las zonas de estudio

5.1.1.- Ciudad Ixtepec

Municipio localizado en la región que compone al Istmo de Tehuantepec (aproximadamente a 4.5 horas en auto de la capital del estado de Oaxaca). Según datos del INEGI del año 2015 tiene una población de 28,637 habitantes.

Se caracteriza por poseer un clima tropical con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 27.7°C, la máxima media anual de 32.4°C y la mínima media anual es de 23°C. Las lluvias se concentran entre el mes de junio a septiembre, mientras que los meses secos van del mes de noviembre a abril. Tiene una elevación de 40 m.s.n.m.



Imagen 5.1.- Obtenida de (Wikipedia, 2019) Mapa regional de ubicación de Ciudad Ixtepec, Oaxaca.

A partir de los datos obtenidos por el Sistema Meteorológico Nacional, se presenta la Tabla 5.1 donde se muestran las temperaturas medias normales por mes de Ciudad Ixtepec.

Temperatura media normal por mes (°C) - Ciudad Ixtepec, Oaxaca												
En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun	Jul.	Ago	Sep	Oct.	Nov	Dic.	Anual
25.0	25.9	27.4	29.2	30.3	29.0	28.6	28.9	28.0	27.6	26.9	25.5	27.7

Tabla 5.1.- Elaboración propia con datos de las normales climatológicas por estado del Sistema Meteorológico Nacional para Ciudad Ixtepec, Oaxaca.

5.1.2.- Santo Domingo Yanhuitlán

Es un municipio ubicado al noroeste de Oaxaca relativamente cerca de la capital oaxaqueña (una hora y media en auto) y consta de una población de 1609 habitantes según datos del INEGI del 2015.

Está ubicado en una región montañosa de la subprovincia de la mixteca alta. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. El relieve del poblado se compone en un 54% de sierra baja compleja con cañadas y 46% por valle de laderas tendidas con lomerío. Tiene una elevación de 2206 m.s.n.m. y el rango de temperatura media anual va de los 12 a los 18°C.

A partir de los datos obtenidos por el Sistema Meteorológico Nacional, se presenta la siguiente tabla (Tabla 5.2), donde se muestran las temperaturas medias normales por mes de Santo Domingo Yanhuitlán.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA



Imagen 5.2.- Obtenida de (Wikipedia, 2020). Mapa regional de ubicación de Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

Temperatura media normal por mes (°C) – Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca												
En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
13.0	14.3	15.6	17.3	18.6	18.2	17.8	18.0	17.1	16.1	14.2	13.4	16.1

Tabla 5.2.- Elaboración propia con datos de las normales climatológicas por estado del Sistema Meteorológico Nacional para Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

5.1.3.- San Jerónimo Tlacoahuaya

Es un municipio ubicado cerca de la capital oaxaqueña (aproximadamente 30 minutos en auto), tiene una población de 5,491 habitantes según datos del INEGI 2015.



Imagen 5.3.- Obtenida de Mapa regional de ubicación de San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

El Clima es semiárido cálido con lluvias en verano, el rango de temperatura media anual es semicálido (18 a 20°C), el rango de temperatura promedio mínima anual es semifría (6 a 8°C) y el rango de temperatura promedio máxima anual es muy cálida (30 a 32°C). Los meses secos van desde abril hasta septiembre, mientras que los meses de lluvias van de octubre a marzo.

A partir de los datos obtenidos por el Sistema Meteorológico Nacional, se presenta la siguiente tabla (Tabla 5.3), donde se muestran las temperaturas medias normales por mes de Santo Domingo Yanhuitlán.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Temperatura media normal por mes (°C) – San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca												
En.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
18.5	19.1	20.8	22.5	22.8	21.4	20.9	21.0	20.8	20.4	20.0	18.6	20.6

Tabla 5.3.- Elaboración propia con datos de las normales climatológicas por estado del Sistema Meteorológico Nacional para San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

5.2.- Casos de estudio base

5.2.1.- Vivienda vernácula - Ciudad Ixtepec

La vivienda es de tipo unifamiliar y se encuentra actualmente habitada. El área construída de la vivienda es de 28.69 m² y el terreno donde se encuentra, no tiene pendientes. La vivienda cuenta con servicios de agua y electricidad, cocina propia, un baño y un espacio común para dormir.

Respecto al sistema constructivo, la vivienda posee una cimentación con zapatas corridas de concreto ciclópeo (60% concreto, 40% piedra). Para dicha cimentación, se cavaron zanjas en todo el perímetro a 45 centímetros de profundidad del nivel del suelo y se compactó el terreno para recibir la cimentación (Imagen 5.7). Por encima de la cimentación se colocó un rodapié fabricado con concreto armado para recibir la carga de los muros.

La estructura general se compone por horcones de madera. Estos son los que sostienen en pie la vivienda y están distribuidos a lo largo del perímetro de la casa. Los muros son de bahareque.

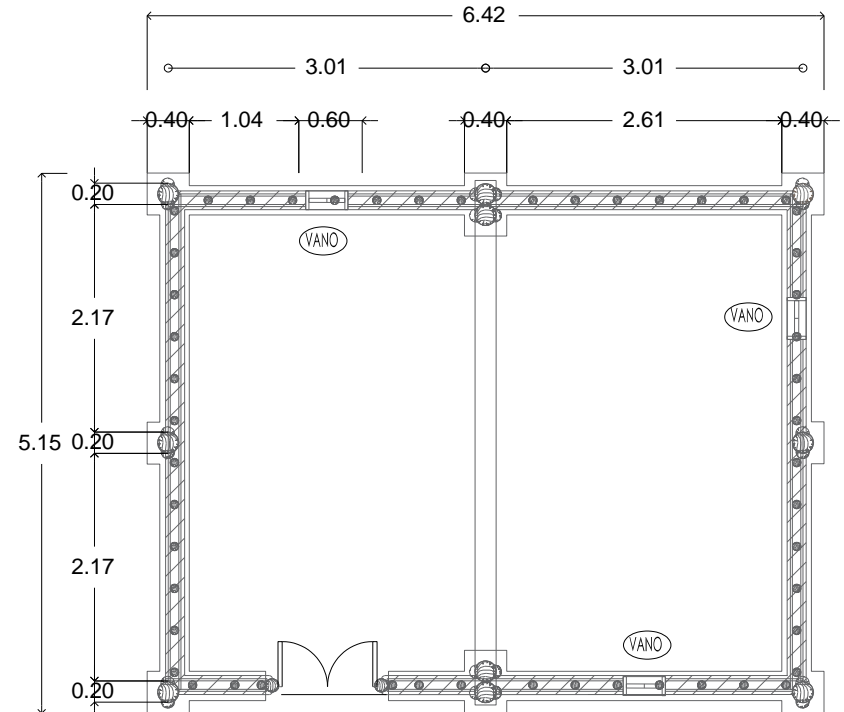


Imagen 5.4.- Plano elaborado y proporcionado por Cooperación Comunitaria A.C. Vista en planta de vivienda vernácula en Ciudad Ixtepec, Oaxaca.

El entramado existente al interior de los muros son postes dispuestos en sentido vertical con madera de copachín (árbol endémico del lugar) con un diámetro aproximado de 5-6 centímetros, y estos se encuentran entrecruzados de igual manera en su sentido horizontal con varas del mismo árbol de un diámetro ligeramente menor (2-3 centímetros). En ambos lados del entramado de la vivienda (interior y exterior) se recubrió con barro (producto de a tierra del sitio).

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

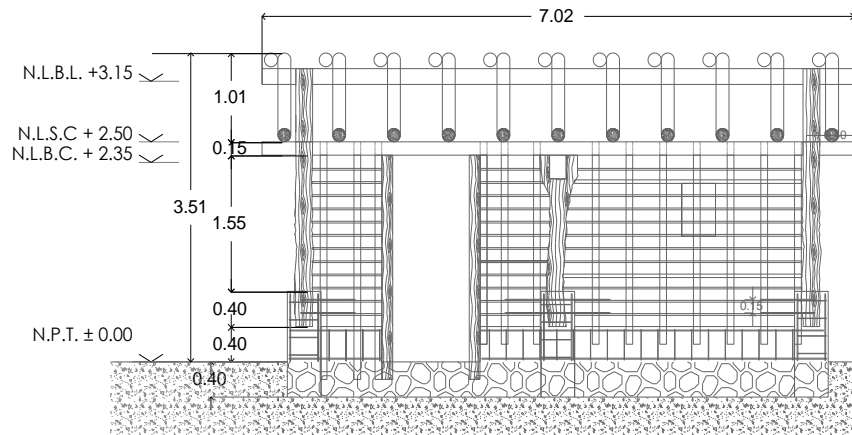


Imagen 5.5.- Plano elaborado y proporcionado por Cooperación Comunitaria A.C. Vista en alzado de vivienda vernácula en Ciudad Ixtepec, Oaxaca.

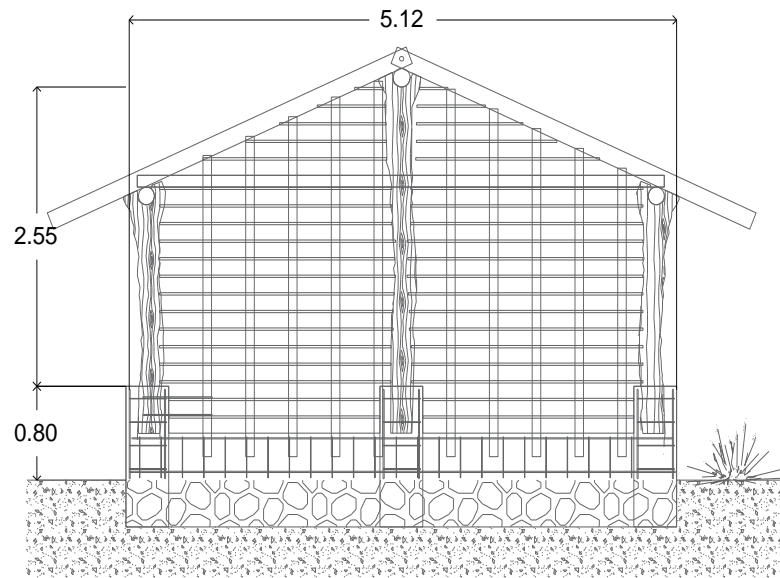


Imagen 5.6.- Plano elaborado y proporcionado por Cooperación Comunitaria A.C. Vista en alzado de la fachada lateral de vivienda vernácula en Ixtepec, Oaxaca.

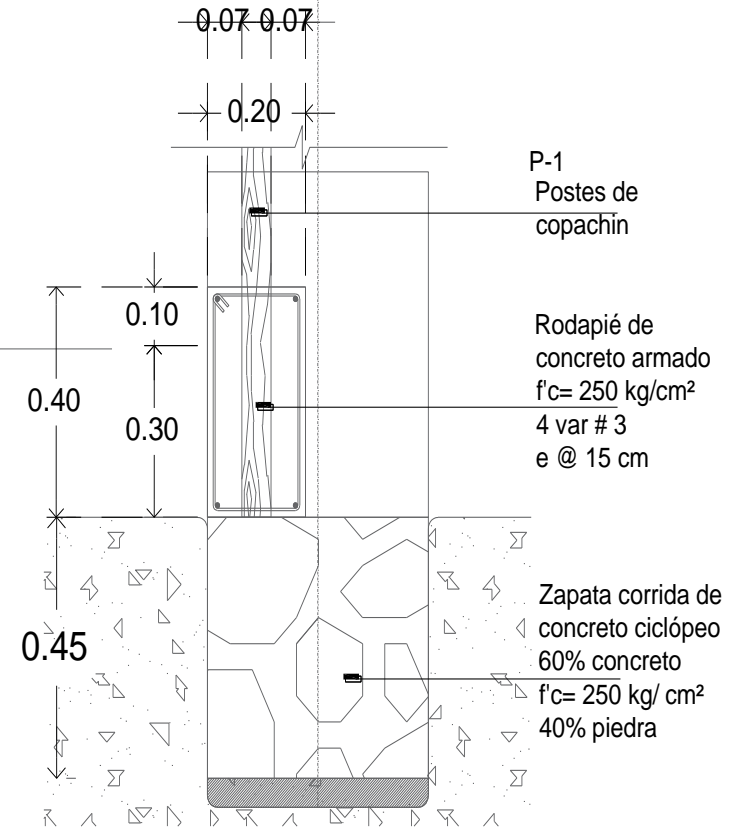


Imagen 5.7.- Plano elaborado y proporcionado por Cooperación Comunitaria A.C. Detalle en alzado de la cimentación utilizada en la vivienda vernácula de Ciudad Ixtepec, Oaxaca.

La estructura para recibir la techumbre está compuesta por morillos de madera de pino de aproximadamente 10 centímetros de espesor. Por encima de los morillos descansan las tablas o bilihuanas (madera de pino), por encima de ellas hay una capa de impermeabilizante en rollo y la última capa (ubicada a la intemperie) son tejas de barro asentadas con mortero.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Cada material o elemento constructivo tiene un carácter propio y la mayoría de ellos son originarios del lugar o de poblaciones aledañas. En la Tabla 5.4 se muestran las características de dichos materiales.

	Bilihuana: Madera de los árboles del sitio, particularmente se ocupa de pino, maciza y sin corteza.
	Morillos, Horcones: Troncos de madera de los árboles del sitio. Se utiliza también madera de copachín, endémico del sitio.
	Barro: Se hace la mezcla con agua y tierra del sitio (de la excavación que se hizo para colocar la cimentación).
	Teja de barro: Fabricada en los negocios locales del sitio o exportada de las localidades aledañas.
	Piedra: Para cimentación. Extraída del mismo terreno.

Tabla 5.4.- Elaboración propia con datos obtenidos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales.

5.2.2.- Vivienda vernácula – Santo Domingo Yanhuitlán

El caso de estudio es una vivienda unifamiliar que actualmente se encuentra abandonada. El uso de suelo del inmueble es de tipo rural con un tipo de suelo arcilloso y resulta ser una zona sísmica tipo C (intermedia). El mes más cálido en la zona se registra aproximadamente en 25°C mientras que el más frío llega a 6.5°C. Los vientos dominantes provienen del noreste.

El área construida de la vivienda es de 38 m², sin embargo, se encuentra ubicada dentro de un terreno de 1550 m². El terreno no tiene pendiente.

Con respecto a las características de la vivienda, tiene una edad de más de 100 años, no cuenta con servicios salvo un pozo de absorción, no tiene ventanas y como dato adicional, se encontró que además de la puerta principal, cuenta con otra puerta tapiada.

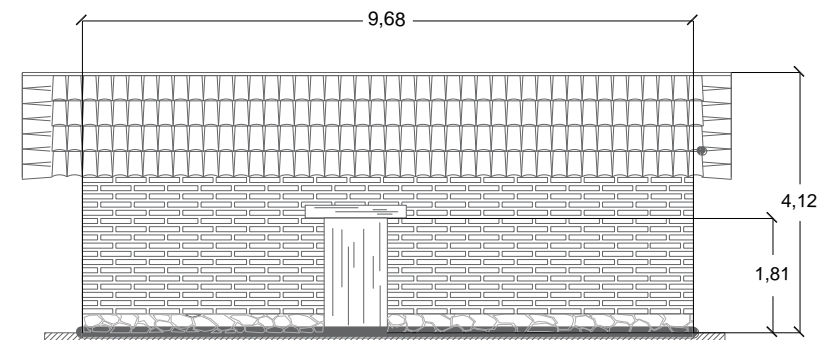


Imagen 5.8.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Fachada principal de vivienda vernácula en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

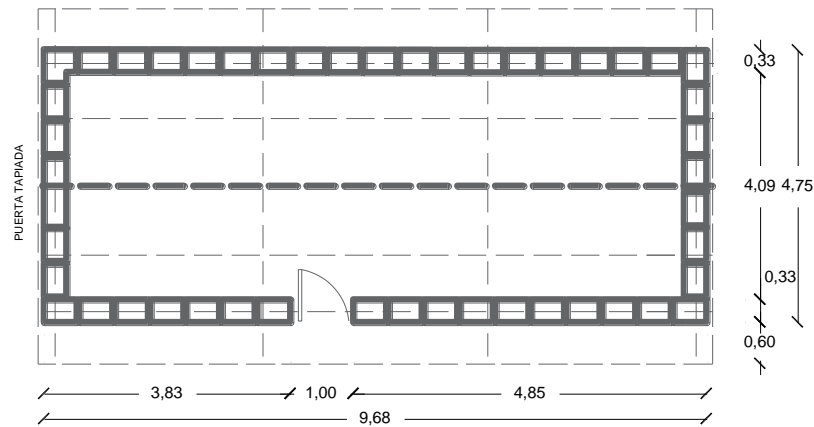


Imagen 5.9.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Vista en planta de vivienda vernácula en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

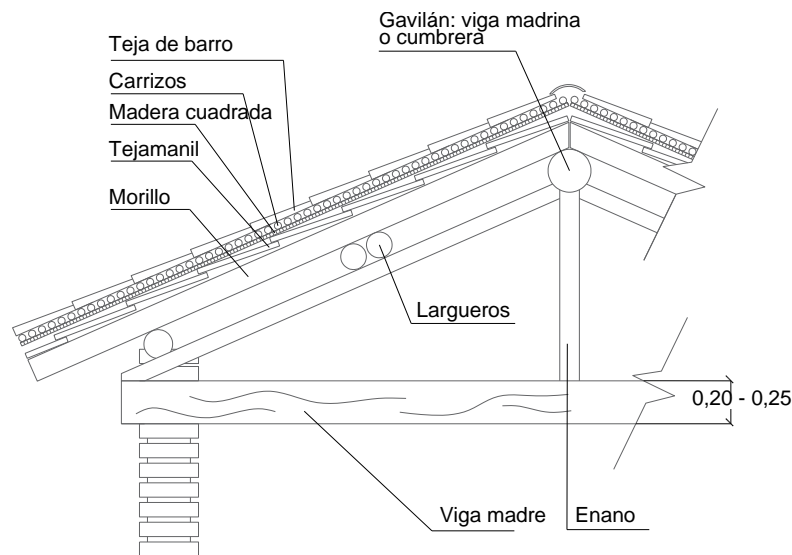


Imagen 5.10.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Corte por fachada de vivienda vernácula en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

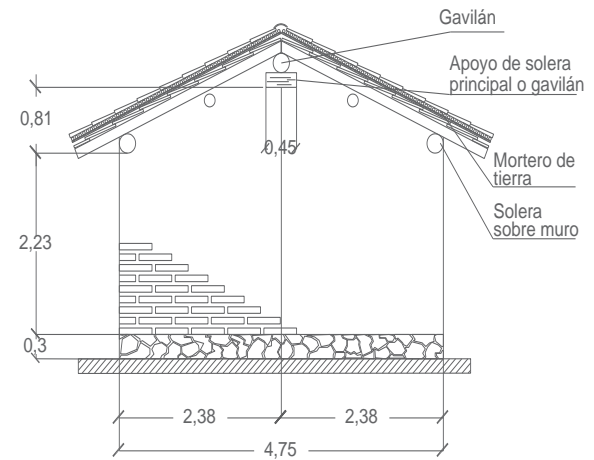


Imagen 5.11.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Alzado lateral de vivienda vernácula en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

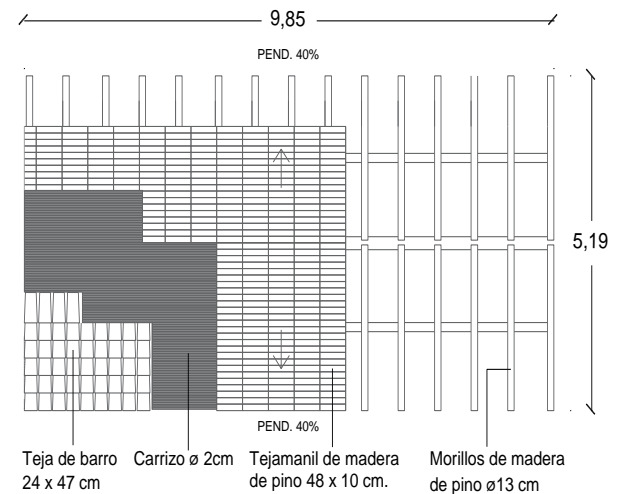


Imagen 5.12.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Detalle constructivo de techumbre. Vivienda vernácula en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Respecto al sistema constructivo, la vivienda posee una cimentación de cantera que sobresale 30 cm sobre el nivel del suelo. La estructura de la techumbre se compone de largueros o morillos de madera apoyados sobre los muros, estos sostienen todas las capas de la techumbre. Cada material o elemento constructivo tiene un carácter propio y la mayoría de ellos son originarios del lugar o de poblaciones aledañas. En la tabla 1 se muestran las características de dichos materiales.

	Tejas originarias de Nochixtlán o Tlaxiaco.
	Carrizos de la región
	Ocote del monte de la región.
	Cal de la calera local. Hoy en día abandonada.
	Suelo arcilloso abundante en la región.
	Cantera de varios colores proveniente de los cerros circundantes hacia Teposcolula.
	Arena de los ríos cercanos.
	Tejamanil de Nochixtlán. Medidas: 48 x 10 cm.

Tabla 5.5.- Elaboración propia con datos obtenidos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales.

5.2.3.- Vivienda vernácula – San Jerónimo Tlacoahuaya

La vivienda está habitada por 3 usuarios dedicados a la cría de animales. El uso de suelo del inmueble es de tipo rural con un tipo de suelo arcilloso y resulta ser una zona con mediana actividad sísmica. El mes más cálido en la zona se registra aproximadamente en 22°C mientras que el más frío llega a 18°C.

El área construida de la vivienda es de 29.36 m² con una pendiente del 5%. No cuenta con vanos. Cuenta con servicios como agua potable y electricidad. Cabe destacar que la vivienda tiene 60 años de antigüedad.

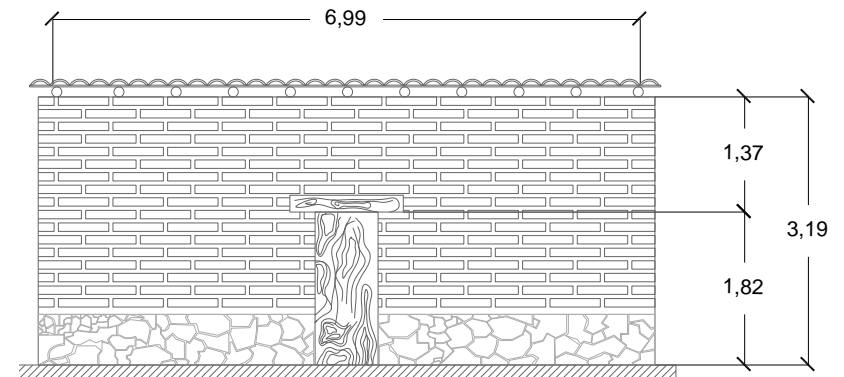


Imagen 5.13.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Fachada principal de vivienda vernácula en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

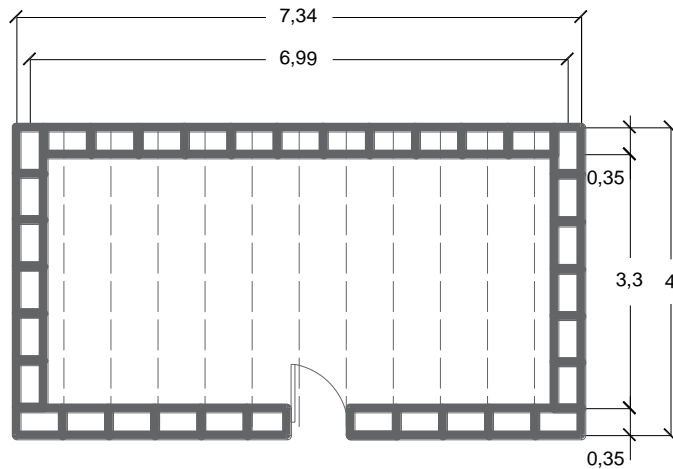


Imagen 5.14.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Vista en planta de vivienda vernácula en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

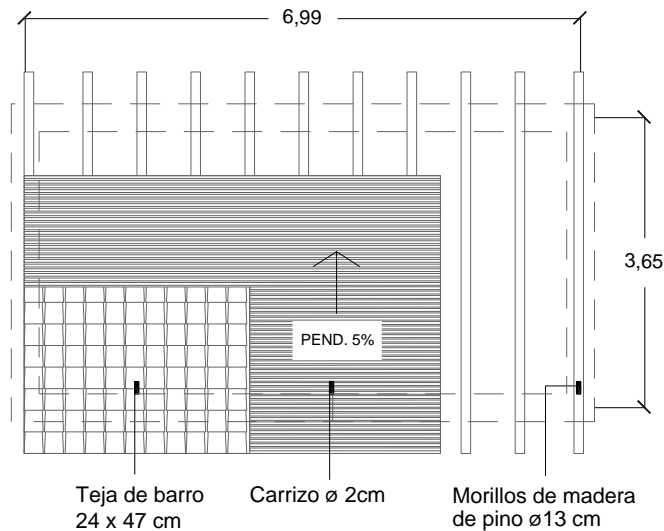


Imagen 5.15.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Detalle constructivo de techumbre. Vivienda vernácula en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

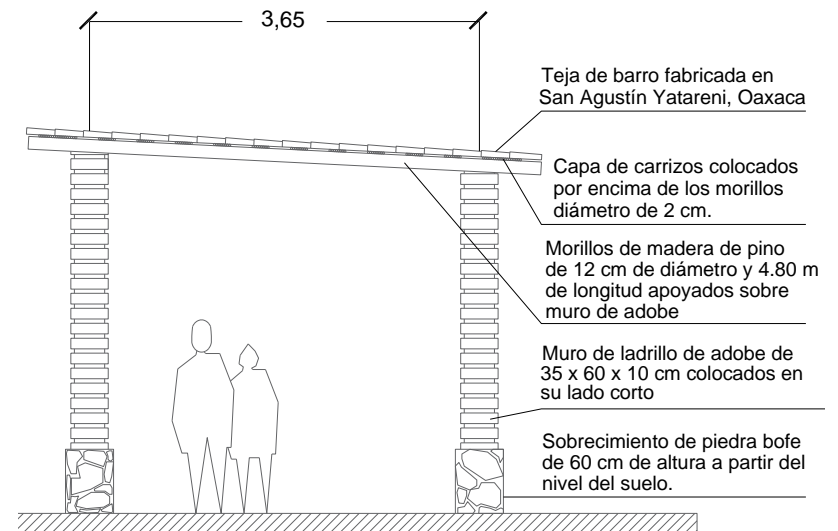


Imagen 5.16.- Elaboración propia con datos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. Corte por fachada. Vivienda vernácula en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

Respecto al sistema constructivo, la vivienda posee una cimentación de piedra bofe (característica del lugar) a 50 cm de profundidad con respecto al nivel de piso. Los muros son de adobe con medidas 35 x 60 x 10 cm colocada en su lado corto. La techumbre consta de morillos de madera colocados a cada 56 cm, la segunda capa consta de una cama continua de carrizos colocada por encima de los mismos morillos, finalmente en su capa exterior se colocó teja de barro (Imagen 5.15).

Cada elemento constructivo tiene un carácter propio y la mayoría de ellos son originarios del lugar o de poblaciones aledañas. En la tabla 5.6 se muestran las características de dichos materiales.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

	<p>Adobe: Se utiliza la tierra del lugar producto de la excavación para cimentación. Utilización de abono de burro y fibras vegetales para su compactación.</p>
	<p>Morillos: Troncos de madera del cerro, particularmente pino o madera cercana al lugar pero maciza. Utilizada sin corteza.</p>
	<p>Carrizo: Obtenido del río y pelado para su uso en techumbre.</p>
	<p>Teja de barro: Traída de San Agustín Yatareni (Oaxaca).</p>
	<p>Piedra: Para cimentación. Transportada desde el cerro en carreta. Utilización de piedra bofe principalmente.</p>

Tabla 5.6.- Elaboración propia con datos obtenidos del Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales.

5.3.- Vivienda industrializada en las zonas de estudio

5.3.1.- Ciudad Ixtepec

Dado a la densidad poblacional que tiene Ixtepec, existe un gran desarrollo urbano, lo cual se traduce en equipamiento: plazas, escuelas, tiendas, iglesias e incluso hoteles; conforme más cerca del

centro de la ciudad, los edificios se pueden visualizar de 3 o incluso 4 niveles en algunos casos (Imagen 5.17).



Imagen 5.17.- Imagen obtenida de Google Street View - Fotografía tomada en enero del 2014.

En cuanto a la vivienda, cabe señalar, que en muchas se observó que la entrada no se encuentra a nivel de banqueteta, sino que la vivienda se encuentra sobre una plataforma o existen escalones antes del acceso que igualmente protegen la casa en los meses de lluvias intensas (Imagen 5.19 y 5.20).



Imagen 5.18.- Imagen obtenida de Google Street View - Fotografía tomada en enero del 2014.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA



Imagen 5.19.- Imagen obtenida de Google Street View - Fotografía tomada en enero del 2014.



Imagen 5.20.- Imagen obtenida de Google Street View - Fotografía tomada en enero del 2014.

Resulta visible, también, que una gran cantidad de viviendas, edificios y locales comerciales poseen sistemas mecánicos de climatización, los cuales son visibles en las fachadas de los mismos; esto debido a que el clima del lugar es caluroso-húmedo durante una gran parte del año.

La vivienda típica es de planta tipo rectangular a dos aguas con aleros que producen sombra en una buena parte de la fachada, las ventanas suelen ser de tamaño mediano. Usualmente, independientemente si es un tipo de construcción vernácula o contemporánea, la techumbre suele ser inclinada y forrada con teja de barro para deslizar el agua en periodos de lluvia, lo cual indica que la vivienda responde a las

características del sitio, el cual se caracteriza por ser seco en periodos invernales, pero con intensas lluvias durante los meses que van de junio a septiembre.

Los materiales constructivos más comunes en muros son el tabique, ladrillo y block de concreto. Las viviendas suelen tener en promedio uno o dos niveles. En puertas y ventanas lo más común es el uso de herrería metálica, sin embargo, una pequeña proporción están trabajadas en madera. La techumbre en las viviendas suele ser inclinada a una o dos aguas y el sistema más utilizado es la losa de concreto que muchas veces se recubre con algún tipo de impermeabilizante.

5.3.2.- Santo Domingo Yanhuitlán

Este poblado se caracteriza por tener un turismo marcado, por lo mismo, las viviendas y en general todo el equipamiento urbano se encuentra en buenas condiciones dado al mantenimiento que se le aporta.



Imagen 5.21.- Imagen obtenida de Google Street View - Fotografía tomada en enero del 2014.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Las fachadas de las viviendas suelen tener un acabado exterior, usualmente es pintura y en algunos casos por lo menos un repellado en la fachada principal, esto independientemente del material utilizado en muros (Imagen 5.22, 5.23 y 5.24).



Imagen 5.22.- Imagen obtenida de Google Street View - Fotografía tomada en enero del 2014.

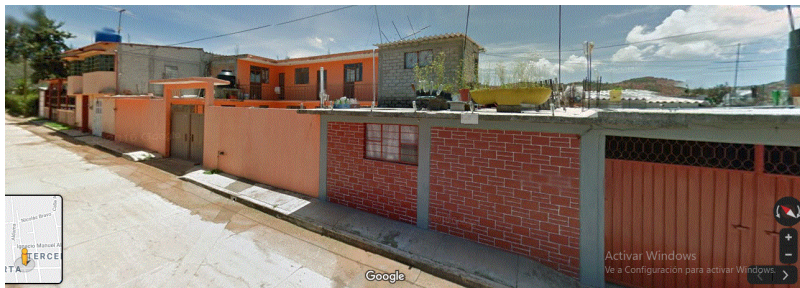


Imagen 5.23.- Imagen obtenida de Google Street View - Fotografía tomada en Julio del 2012.

Las calles están pavimentadas en su mayoría y no solamente se aprecian viviendas, sino de igual manera hay tiendas de abarrotes, panaderías, tiendas de artesanías, edificio municipal con plaza y el ex convento de Yanhuitlán que es un gran atractivo turístico.



Imagen 5.24.- Imagen obtenida de Google Street View - Fotografía tomada en Julio del 2012.

En cuanto a las características de las viviendas, estas suelen ser de uno o dos pisos. Los materiales constructivos empleados son: tabique rojo recocido o block de concreto en muros comúnmente acompañados con una capa exterior de mezcla para repello y una capa de pintura, losa de concreto o lámina en techumbres, las ventanas suelen ser medianas en proporción con el tamaño de la casa y algunas constan también de un patio interior. Cabe mencionar que es común observar las techumbres con un grado de inclinación, se encontraron a un agua y a dos aguas.

5.3.3.- San Jerónimo Tlacoahuaya

El lugar es contrastante en sus espacios, ya que por un lado se puede observar la zona centro del municipio con una plaza pública llena de vegetación que cuenta con buen mantenimiento, se observa también un convento y negocios de diversa variedad incluida la venta de artesanías en locales y a lo largo de las calles (Imagen 5.25 y 5.26).

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA



Imagen 5.25.- Imagen obtenida de Google Street View– Fotografía tomada en enero del 2013.

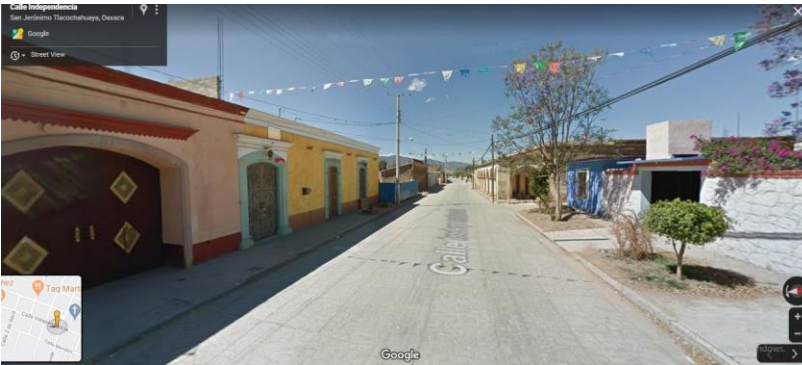


Imagen 5.26.- Imagen obtenida de Google Street View– Fotografía tomada en enero del 2013.

Sin embargo, al direccionarse unas cuantas calles fuera del centro, el paisaje empieza a cambiar por viviendas de autoconstrucción, fachadas sin pintura, calles mal pavimentadas y escasa vegetación (Imagen 5.27). Por último, al llegar a las zonas más marginadas, es visible que los asentamientos se vuelven parcialmente dispersos, se aprecia el paisaje rural con características de un clima seco y las viviendas carecen de elementos decorativos en fachadas y materiales (Imagen 5.28).



Imagen 5.27.- Imagen obtenida de Google Street View– Fotografía tomada en enero del 2013.



Imagen 5.28.- Imagen obtenida de Google Street View– Fotografía tomada en enero del 2013.

Las características constructivas en viviendas contemporáneas que abundan en el sitio son: muros de block o tabique rojo recocado sin acabado exterior (posiblemente una cantidad mínima de ellas cuente con algún tipo de acabado o repellido interior), piso de concreto simple o tierra apisonada en algunos casos, techumbre con losa de concreto inclinada o plana y en algunos casos cubierta de lámina. Las puertas de acceso a la vivienda mayormente se encontraron acabadas en herrería metálica y las aberturas al exterior (ventanas) se

caracterizan por ser de tamaño medio (15% a 25% de la fachada exterior). Además de esto, muchas de estas viviendas cuentan con un patio interior para alojar vegetación endémica del sitio y con el objetivo de proporcionar aire fresco para ventilar los espacios en periodos de calor.

5.4.- Determinando los materiales constructivos de C.E.1 y C.E.2

Una vez que ya se ha conocido parte de la imagen urbana y de los sistemas constructivos industrializados en las zonas de estudio es posible determinar los materiales que serán utilizados para efectuar las simulaciones térmicas. Es preciso recordar que las viviendas conservarán sus dimensiones originales incluyendo la ubicación y dimensión de vanos y puertas, así como las características de inclinación de la techumbre original, lo único que se modificará serán los materiales constructivos cuyos datos serán ingresados con sus características reales, incluyendo espesor real y propiedades termofísicas.

A pesar de que las zonas de estudio poseen una localización variada dentro del estado de Oaxaca, resulta visible que son unos pocos materiales industrializados los que dominan el mercado, en este caso, el concreto frecuentemente utilizado para colar losas tiene una gran utilización en todo el país. De igual manera, lo más común para muros sigue siendo el ladrillo rojo recocido y el block hueco o sólido de concreto. Otra cuestión característica es dar un acabado sencillo a los muros, esto consta de una capa de mortero para aplicar la pintura después.

Todos los elementos mencionados fueron encontrados al realizar el recorrido virtual por las zonas de estudio, por esta razón se presentarán las tablas donde se podrán observar los materiales que se determinó utilizar para la conformación del sistema constructivo industrializado (Tabla 5.7 y Tabla 5.8)

Los C.E.1 y C.E.2 serán simulados térmicamente en las tres zonas de estudio. Es decir, cada zona obtendrá una simulación para cada uno de los casos de estudio base (C.E.0) y dos más que representarán la misma vivienda, pero evaluada térmicamente con los materiales descritos en la Tabla 5.7 y la Tabla 5.8. Un total de 9 simulaciones térmicas.

Por último, resulta importante mencionar que la vivienda situada en Ixtepec es la única que posee ventanas, por lo tanto, el vidrio templado de 6 mm descrito en las tablas sólo aplicará para este caso, con respecto a los otros, durante la configuración de la simulación será indicada la ausencia de ventanas.

Materiales constructivos – Vivienda industrializada – C.E.1	
Muros	Capa exterior: Mortero (repellado).
	Capa intermedia: Tabique rojo recocido.
	Capa interior: Mortero (repellado).
Techumbre	Capa interior: Losa de concreto.
	Capa exterior: Impermeabilizante en rollo.
Piso	Losa de concreto.
Ventanas	Vidrio templado de 6 mm.
Puerta	Herrería metálica.

Tabla 5.7.- Elaboración propia con base en recorrido virtual en Google Street View.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Materiales constructivos – Vivienda industrializada – C.E.2	
Muros	Capa exterior: Mortero (repellado).
	Capa intermedia: Block sólido de concreto.
	Capa interior: Mortero (repellado).
Techumbre	Capa interior: Losa de concreto.
	Capa exterior: Impermeabilizante en rollo.
Piso	Losa de concreto.
Ventanas	Vidrio templado de 6 mm.
Puerta	Herrería metálica.

Tabla 5.8.- Elaboración propia con base en recorrido virtual en Google Street View.

5.5.- Diagrama de ordenamiento para los casos de estudio

Como ya se mencionó, el presente trabajo se distribuye en 3 zonas de estudio: Ciudad Ixtepec, Santo Domingo Yanhuitlán y San Jerónimo Tlacoahuaya. Cada uno de estos municipios posee una vivienda que fungió como el caso de estudio base. En este caso, para su mayor comprensión, se elaboró un diagrama de árbol (Imagen 5.29) en el que se muestra que por cada zona de estudio existen tres casos de estudio (C.E.0, C.E.1 y C.E.2). En este caso, las viviendas vernáculas o casos de estudio base, fueron representadas con la nomenclatura C.E.0 (Caso de estudio 0) y las viviendas que poseen materiales industrializados en su sistema constructivo, están representadas con la nomenclatura C.E.1 (Caso de estudio 1) y C.E.2 (Caso de estudio 2), representando las viviendas con muros de ladrillo y las de muros de bloque de concreto sólido, respectivamente.

El diagrama se elaboró con la finalidad de dar una presentación gráfica de fácil entendimiento para comprender la distribución de los casos de estudio.

Nótese que, en dicho diagrama, para efectos de una comprensión resumida, no fueron incluidas a detalle todas las capas de materiales observadas en las viviendas vernáculas, sin embargo, si se desea conocer a detalle las características de los sistemas constructivos, estas aparecen a detalle en el capítulo “Casos de estudio base”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

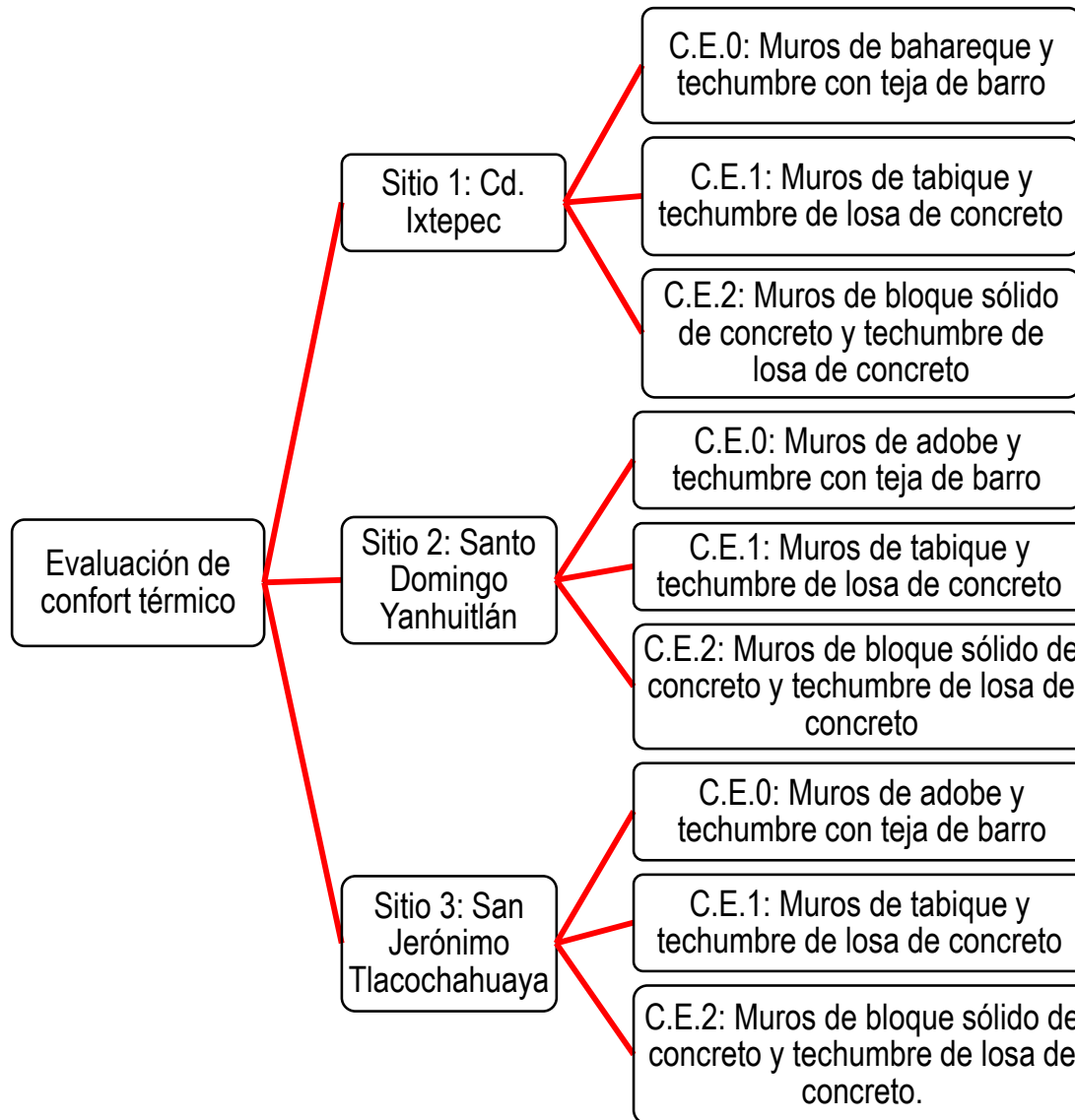


Imagen 5.29.- Elaboración propia con base en información recabada por el Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

5.6.- Propiedades termofísicas y ópticas de los materiales constructivos.

5.6.1.- Vivienda vernácula en Ciudad Ixtepec – C.E.0

		CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	DENSIDAD	CALOR ESPECÍFICO	ABSORTANCIA TÉRMICA	ABSORTANCIA SOLAR	ABSORTANCIA VISIBLE	ESPESOR
UNIDAD	MATERIAL	W/mK	Kg/m ³	J/kg°C				m
MUROS	BAHAREQUE	0.543	1296.13	687.30	0.8930	0.691	0.691	0.18
	OTATE	0.137	522.78	1843.967	0.90	0.70	0.70	0.005 + HUECO AIRE + 0.005
PISO	CONCRETO	1.6	2400	1000	0.88	0.60	0.60	0.10
PUERTA	MADERA DE PINO	0.12	510	1380	0.90	0.59	0.59	0.025
VENTANA	VIDRIO DE 6 MM	0.9	-	-	-	-	-	0.0057
TECHUMBRE	BILIHUANA	0.072	248.66	1886.087	0.90	0.59	0.59	0.012
	IMPERMEABILIZANTE EN ROLLO	0.58	1700	1140	0.90	0.70	0.70	0.0035
	TEJA DE BARRO	1	2000	800	0.90	0.65	0.65	0.01

Imagen 5.30.- Elaboración propia con datos de (Luna Alonso, 2019) y (Kreith & Krieder, 2000). Propiedades termofísicas y ópticas de materiales constructivos de vivienda vernácula en Ciudad Ixtepec, Oaxaca.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

5.6.2.- Vivienda vernácula en Santo Domingo Yanhuitlán – C.E.0

		CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	DENSIDAD	CALOR ESPECÍFICO	ABSORTANCIA TÉRMICA	ABSORTANCIA SOLAR	ABSORTANCIA VISIBLE	ESPESOR
UNIDAD	MATERIAL	W/m°C	Kg/m ³	J/kg°C				m
MUROS	ADOBE	0.7931	1798	1038	0.8930	0.7280	0.2720	0.33
PISO	TIERRA VEGETAL	1.8	1800	920	0.90	0.70	0.70	0.10
PUERTA	MADERA DE PINO	0.12	510	1380	0.90	0.59	0.59	0.025
VENTANA	-	-	-	-	-	-	-	-
TECHUMBRE	TEJAMANIL	0.12	510	1380	0.90	0.59	0.59	0.01
	VARAS CUADRADAS DE MADERA	0.12	510	1380	0.90	0.59	0.59	0.02
	CARRIZO	0.137	522.78	1843.967	0.90	0.70	0.70	0.005 + HUECO AIRE + 0.005
	TEJA DE BARRO	1	2000	800	0.90	0.65	0.65	0.01

Imagen 5.31.- Elaboración propia con datos de (Luna Alonso, 2019) y (Kreith & Krieder, 2000). Propiedades termofísicas y ópticas de materiales constructivos de vivienda vernácula en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

5.6.3.- Vivienda vernácula en San Jerónimo Tlacoahuaya – C.E.0

	MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	DENSIDAD	CALOR ESPECÍFICO	ABSORTANCIA TÉRMICA	ABSORTANCIA SOLAR	ABSORTANCIA VISIBLE	ESPESOR
UNIDAD		W/m°C	Kg/m3	J/kg°C				m
MUROS	ADOBE	0.7931	1798	1038	0.8930	0.7280	0.2720	0.35
PISO	TIERRA VEGETAL	1.8	1800	920	0.90	0.70	0.70	0.10
PUERTA	MADERA DE PINO	0.12	510	1380	0.90	0.59	0.59	0.025
VENTANA	-	-	-	-	-	-	-	-
TECHUMBRE	MORILLOS DE MADERA	0.12	510	1380	0.90	0.59	0.59	0.12
	CARRIZO	0.137	522.78	1843.967	0.90	0.70	0.70	0.005 + HUECO AIRE + 0.005
	TEJA DE BARRO	1	2000	800	0.90	0.65	0.65	0.01

Imagen 5.32.- Elaboración propia con datos de (Luna Alonso, 2019) y (Kreith & Krieder, 2000). Propiedades termofísicas y ópticas de materiales constructivos de vivienda vernácula en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

5.6.4.- Viviendas industrializadas – C.E.1 y C.E.2

		CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	DENSIDAD	CALOR ESPECÍFICO	ABSORTANCIA TÉRMICA	ABSORTANCIA SOLAR	ABSORTANCIA VISIBLE	ESPESOR
UNIDAD	MATERIAL	W/m°C	Kg/m3	J/kg°C				m
MUROS	TABIQUE ROJO RECOCIDO	0.8720	2000	840	0.9450	0.70	0.70	0.12
	MORTERO	0.88	2800	896	0.90	0.70	0.70	0.002
PISO	CONCRETO	1.6	2400	1000	0.88	0.60	0.60	0.10
PUERTA	HERRERÍA METÁLICA	43	7800	473	0.16	0.95	0.95	0.002
VENTANA	VIDRIO 6 MM	0.9	-	-	-	-	-	0.0057
TECHUMBRE	LOSA DE CONCRETO	1.6	2400	1000	0.88	0.60	0.60	0.10
	IMPERMEABILIZANTE EN ROLLO	0.58	1700	1140	0.90	0.70	0.70	0.0035

		CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	DENSIDAD	CALOR ESPECÍFICO	ABSORTANCIA TÉRMICA	ABSORTANCIA SOLAR	ABSORTANCIA VISIBLE	ESPESOR
UNIDAD	MATERIAL	W/m°C	Kg/m3	J/kg°C				m
MUROS	BLOCK DE CONCRETO	1.6	2400	1000	0.88	0.60	0.60	0.20
	MORTERO	0.88	2800	896	0.90	0.70	0.70	0.002
PISO	CONCRETO	1.6	2400	1000	0.88	0.60	0.60	0.10
PUERTA	HERRERÍA METÁLICA	43	7800	473	0.16	0.95	0.95	0.002
VENTANA	VIDRIO 6 MM	0.9	-	-	-	-	-	0.0057
TECHUMBRE	LOSA DE CONCRETO	1.6	2400	1000	0.88	0.60	0.60	0.10
	IMPERMEABILIZANTE EN ROLLO	0.58	1700	1140	0.90	0.70	0.70	0.0035

Imagen 5.33 y 5.34.- Elaboración propia con datos de (Luna Alonso, 2019) y (Kreith & Krieder, 2000).

5.7.- Modelado en DesignBuilder y simulación térmica en EnergyPlus

- Introducción a los programas

DesignBuilder es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Sus avanzadas opciones permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de CO₂ en edificios, entre muchos otros (Ordoñez García, 2014). A grandes rasgos, el programa combina el modelado tridimensional con los procesos de simulación energética. Al igual que Autocad, DesignBuilder es un software que ha sido desarrollado para su utilización por un rango de profesionales como arquitectos, ingenieros, trabajadores de servicio en la construcción, consultores energéticos y académicos del rubro (Gestor Energético Econova, 2018).

El programa posee una estructura modular con un modelador 3D que funciona como núcleo. Son 8 los módulos de análisis disponibles, cada uno de los cuales ofrece un tipo de análisis específico. Los módulos se integran entre sí para facilitar análisis detallados del desempeño ambiental y energético de los edificios. La imagen 5.35 muestra de manera general las herramientas que posee el programa.

En este caso, nos centraremos sólo en describir el módulo "Simulación", pues será el que se ocupará a para ejecutar el trabajo.

Este módulo integra el motor de cálculo "EnergyPlus", que ha sido desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) y representa una de las herramientas de su tipo más

avanzadas del mundo. Mediante el módulo EnergyPlus es posible desarrollar simulaciones dinámicas avanzadas en tiempo real, empleando archivos de datos climáticos horarios, así como cálculos de dimensionamiento de los sistemas HVAC. Puede ser usado para análisis tanto en modo mecánico (con sistemas HVAC), es decir, utilizando un método pasivo de ventilación (Ordoñez García, 2014).



Imagen 5.35.- Obtenida de (Ordoñez García, 2014).

A continuación, se hablará un poco del programa EnergyPlus con el objetivo de dar una pequeña introducción a este.

EnergyPlus es un programa nacido como una mejora de los programas BLAST y DOE-2, ambos lanzados a fines de los años 70 y

principios de los 80 como herramientas de simulación de energía y cargas. Su uso está dirigido a ingenieros, diseñadores, arquitectos o académicos que deseen, por ejemplo, dimensionar correctamente equipos mecánicos de climatización, desarrollar estudios de actualización para análisis de costos de ciclo de vida, optimizar rendimientos energéticos, etc.

El programa nace también, de las medidas implementadas a partir de la crisis energética transcurrida a principios de la década de los 70 y el reconocimiento de que el consumo de energía en edificios es un componente importante de diseño.

Al igual que BLAST y DOE-2, EnergyPlus es un programa de análisis de energía y simulación de carga térmica. A partir de una descripción detallada de los elementos físicos del edificio y sus correspondientes sistemas mecánicos otorgados por el usuario, el programa calculará las cargas de calefacción y ventilación necesarias para mantener el confort térmico en determinadas áreas, describirá las condiciones del edificio agregando sistemas mecánicos secundarios, calculará el consumo de energía del equipo de planta primario, así como muchos otros detalles de simulación que resultan necesarios para verificar que la simulación se lleve a cabo de la manera precisa en que opera el edificio (EnergyPlus, 2015).

- Inicio a la simulación térmica

Una vez obtenidas las características, propiedades termofísicas y ópticas de cada material se puede dar inicio a las simulaciones térmicas.

Los dibujos digitalizados de las plantas arquitectónicas presentados en el capítulo “Casos de estudio base”, que fueron realizados con el software de diseño “Autocad” fueron importados al programa DesignBuilder para empezar a modelar, dando espesor a muros y levantando los mismos junto con la techumbre de la vivienda.

En el caso del presente trabajo, dadas las características de las viviendas y con el objetivo de obtener resultados de confortabilidad térmica sin la influencia de ningún factor externo, se llevarán a cabo las simulaciones sin utilizar una configuración que incluya sistemas mecánicos de ventilación. De igual manera y por la misma razón, se configuró para no tomar en cuenta la ocupación humana.

Los archivos se importaron. El programa solicitó datos como: espesor de muros, altura de entrepiso, ubicación de vanos y puertas, características, inclinación (si es que hay) y pendiente de la techumbre. El programa también tiene una opción para que la vivienda sea ubicada correctamente con respecto a su posición cardinal y es un punto que resulta crucial para evaluar el desempeño térmico de la vivienda en las simulaciones.

Una vez concluido el modelado de la vivienda, se procedió a importar el modelo al motor de cálculo EnergyPlus. Para llevar a cabo la importación, el programa solicitó también datos de la simulación. Respecto a esto, se configuró para que la simulación se llevara a cabo

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

durante el lapso de un año (1° de diciembre a 31 de enero) y obteniendo resultados por cada transcurso de una hora del lapso mencionado, es decir, la evaluación será “horaria”.

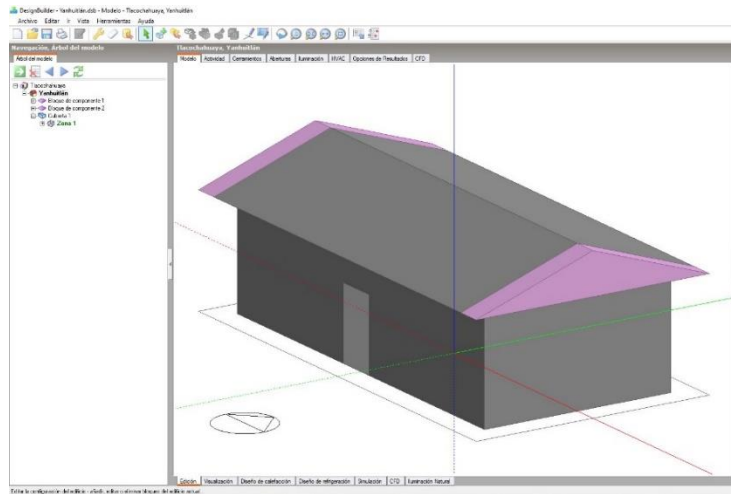


Imagen 5.36.- Captura de pantalla del programa DesignBuilder. Modelado de la vivienda vernácula situada en Santo Domingo Yanhuitlán.

Al importar los archivos a EnergyPlus, el programa pide datos tales como el archivo climático del sitio, los datos de ubicación tales como latitud, longitud, elevación y zona horaria. Posterior a eso, se llenan datos referentes a la vivienda en cuestión, tales como el espesor de muros, espesor de las capas de techumbre, así como datos de las propiedades termofísicas de los materiales empleados en el sistema constructivo que se está evaluando (Imagen 5.38). Ya que las viviendas poseen varias capas de materiales distintos tanto en muros como en techumbre, el programa también solicita información para poder realizar la simulación con el orden correcto de los materiales.

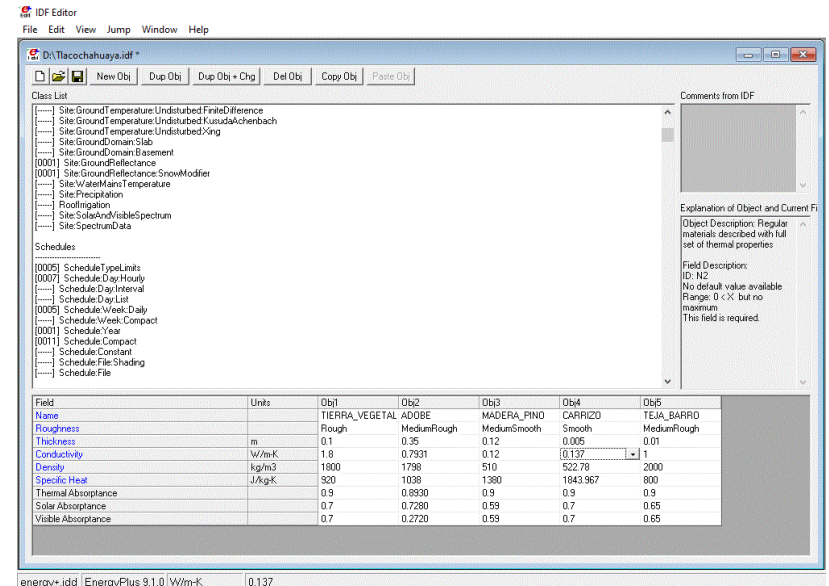


Imagen 5.37.- Captura de pantalla del programa EnergyPlus para Tlacochoahuaya, Oaxaca.

Surface Construction Elements

[0006] Material
 [-----] Material:NoMass
 [0001] Material:InfraredTransparent
 [-----] Material:AirGap
 [-----] Material:RoofVegetation
 [-----] WindowMaterial:SimpleGlazingSystem
 [0001] WindowMaterial:Glazing
 [-----] WindowMaterial:GlazingGroup:Thermochromic

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		TIERRA_VEGETAL	BILIHUANA	TE
Roughness		Rough	Rough	Mf
Thickness	m	0.1	0.012	0.01
Conductivity	W/m-K	1.8	0.072	1
Density	kg/m3	1800	248.66	20
Specific Heat	J/kg-K	920	1886.087	80
Thermal Absorptance		0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance		0.7	0.59	0.65
Visible Absorptance		0.7	0.59	0.65

Imagen 5.38.- Captura de pantalla del programa EnergyPlus. Propiedades termofísicas y ópticas de los materiales constructivos de la vivienda vernácula en Ciudad Ixtepec, Oaxaca.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

En el caso de las viviendas vernáculas situadas en San Jerónimo Tlacoahuaya y Santo Domingo Yanhuitlán, estas poseen dentro de sus materiales constructivos en techumbre, el carrizo. En el caso de la vivienda vernácula en Ciudad Ixtepec, este mismo material se encuentra en los muros. Para este caso, se hace notar que el carrizo es una especie de bambú con un hueco al centro de su vara. Por esta razón, las dimensiones de espesor para este material se ingresaron midiendo primero el espesor del recubrimiento del carrizo, posteriormente un “hueco de aire” y finalmente ingresando nuevamente el espesor del recubrimiento.

De igual manera que se ingresaron las características de cada material constructivo, el programa también solicitó información de los vanos ubicados dentro de la vivienda. En este caso, la única zona de estudio donde la vivienda tiene ventanas es la de Ciudad Ixtepec. Para tal caso, en las simulaciones llevadas a cabo para C.E.0, C.E.1 y C.E.2 se configuró para evaluarla utilizando vidrio templado de 6mm de espesor, y sus correspondientes propiedades fueron obtenidas de “Window”, el cual es un programa diseñado para calcular los índices de desempeño térmico ocurridos en ventanas, tales como: coeficientes de ganancia solar, coeficientes de sombreado y transmitancias visibles.

Finalmente, una vez establecida la configuración detallada de los materiales y los datos del sitio, se llevó a cabo la configuración para la obtención de datos de la simulación.

Ya que el objetivo de la investigación consiste en medir el confort térmico al interior de cada una de las 9 viviendas, se vuelve

indispensable saber cuál es la temperatura al exterior de la vivienda para poder realizar una comparativa y con esto saber cuánto amortiguan o disminuyen los cambios de temperatura dichos materiales constructivos al percibirse estos cambios al interior de la vivienda. Para esto, se ingresaron los archivos climáticos correspondientes a la zona de estudio a simular.

Antes de realizar la simulación se pidió al programa la obtención de dos datos: la temperatura media exterior (al exterior de la vivienda) y la temperatura media al interior de la vivienda.

Finalmente, una vez cargados todos los datos mencionados, se llevó a cabo la simulación. Los resultados consistieron en un valor de temperatura por cada hora del año al interior de la vivienda y otro valor de temperatura por cada hora del año al exterior de la vivienda. Los datos fueron obtenidos en el programa Microsoft Excel, sin embargo, no pudieron ser interpretados hasta establecer los intervalos de comodidad térmica y posteriormente graficarlos.

5.8.- Estableciendo los intervalos de comodidad térmica y evaluación de desempeño térmico

Con el objetivo de establecer un parámetro certero que indicara las percepciones de comodidad térmica para el usuario, se utilizó el modelo de confort térmico adaptativo ASHRAE 55, del cual se habló previamente en el marco conceptual de la presente tesis.

El estándar establece una serie de ecuaciones preestablecidas y previamente estudiadas que calculan: la temperatura de neutralidad térmica (Tn) (temperatura ideal de confort), la temperatura máxima admisible de confort térmico (Tc.máx) y la temperatura mínima admisible de confort térmico (Tc.min), todo esto a partir del valor de la temperatura media ambiente (Tamb).

A continuación, se presentan las ecuaciones de cálculo:

$$T_n = 0.31 * T_{amb} + 17.8$$

$$T_{c.máx} = T_n + 2.5 \text{ °C}$$

$$T_{c.min} = T_n - 2.5 \text{ °C}$$

Donde:

Tamb: Temperatura media ambiente (exterior)}

Tn: Temperatura de neutralidad térmica

Tc.máx: Temperatura máxima admisible de confort térmico

Tc.min: Temperatura mínima admisible de confort térmico

Para iniciar los cálculos, se obtuvieron los datos de temperatura media normal para cada caso de estudio, los cuales fueron consultados de las normales climatológicas por estado del Sistema Meteorológico Nacional. En la imagen 5.39 se muestra una captura de pantalla de la página web del Sistema Meteorológico Nacional donde se obtuvo la información.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

NORMALES CLIMATOLÓGICAS

ESTADO DE: OAXACA

ESTACION: 00020039 IXTEPEC LATITUD: 16°33'07" N. L

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
TEMPERATURA MAXIMA							
NORMAL	29.6	30.9	32.7	34.6	35.7	33.7	33.1
MAXIMA MENSUAL	32.2	32.8	35.8	37.3	39.5	36.5	35.5
AÑO DE MAXIMA	1982	2003	2000	2002	1995	1983	1985
MAXIMA DIARIA	38.0	39.5	41.0	43.0	43.0	41.0	39.5
FECHA MAXIMA DIARIA	07/1982	09/1999	16/2001	14/1986	23/1995	08/2005	10/2005
AÑOS CON DATOS	28	28	28	29	29	30	30
TEMPERATURA MEDIA							
NORMAL	25.0	25.9	27.4	29.2	30.3	29.0	28.6
AÑOS CON DATOS	28	28	28	29	29	30	30

Imagen 5.39.- Captura de pantalla de las normales climatológicas por estado del Sistema Meteorológico Nacional. Temperatura media normal para Ciudad Ixtepec, Oaxaca.

Al contar con los datos de temperatura media normal por cada mes en las zonas de estudio, se calcularon los valores de Tn, Tc.máx y Tc.min. Con esto se establecieron los rangos de confortabilidad térmica que fueron utilizados como modelo para ser comparados con los resultados obtenidos en las simulaciones.

Poniendo como ejemplo el mes de enero, este cuenta con un lapso de 31 días. Cada uno de los días posee un registro de 24 resultados por cada temperatura evaluada (interior y exterior), resultado de la simulación.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Para realizar un análisis completo que indicara el número y porcentaje de horas de confort que se perciben al interior de la vivienda, se tomaron los datos obtenidos de “temperatura media interior” para cuantificar el número de horas que se encontraban dentro de los rangos de confortabilidad, es decir, las temperaturas que estuvieran por encima de la temperatura máxima admisible y las que estuvieran por debajo de la mínima admisible serían colocadas dentro del rango de “horas calientes” y “horas frías” respectivamente, a diferencia de las horas registradas que se mantuvieron dentro de los límites de confortabilidad, las cuales fueron calificadas como “horas de comodidad”. Esta contabilización se realizó por cada mes del año, ya que los rangos de confortabilidad varían mes con mes dependiendo la temperatura media ambiente.

Con el objetivo de ilustrar de mejor manera la contabilización de horas de confortabilidad, se realizó un esquema que indica dicha cuantificación acompañada con los porcentajes de comodidad por mes y los porcentajes divididos en “horas frías”, “horas calientes” y “horas de comodidad” (Imagen 5.40).

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas comodidad	Total horas del mes	% comodidad
Enero	33	248	463	744	62.2
Febrero	13	308	423	744	56.9
Marzo	20	337	387	744	52.0
Abril	12	318	414	744	55.6
Mayo	19	314	411	744	55.2
Junio	48	236	460	744	61.8
Julio	0	317	427	744	57.4
Agosto	51	291	402	744	54.0
Septiembre	17	230	497	744	66.8
Octubre	41	257	446	744	59.9
Noviembre	18	248	478	744	64.2
Diciembre	27	210	507	744	68.1
Totales	299	3314	5315	8928	
Porcentaje	3.3	37.1	59.5		

Imagen 5.40.- Elaboración propia con datos obtenidos de EnergyPlus. Ejemplo de cuantificación de horas de confortabilidad para el C.E.2 de Ixtepec, Oaxaca.

Para obtener un resultado más preciso de cómo se desempeñan los materiales constructivos de los casos de estudio, se obtuvieron los datos de temperatura del día más caliente y el día más frío del año para cada caso de estudio. Estas temperaturas, ocurridas a lo largo del día, sirvieron para graficar el desempeño de la vivienda en cada caso y se acompañaron con los datos de temperatura media ambiente (exterior de la vivienda). En la imagen 5.41 se muestra un ejemplo de la gráfica elaborada para analizar el día más caliente percibido dentro de la vivienda construida con block de concreto en Ciudad Ixtepec.

La gráfica representa las fluctuaciones de temperatura a lo largo del día y es visible la cantidad de tiempo que permanece en los rangos de confort establecidos por la T_{cmin} y la $T_{cmáx}$. La $T_{Ext.}$ representa la temperatura ocurrida al exterior de la vivienda y la $T_{Int.}$ es la temperatura percibida al interior de esta.

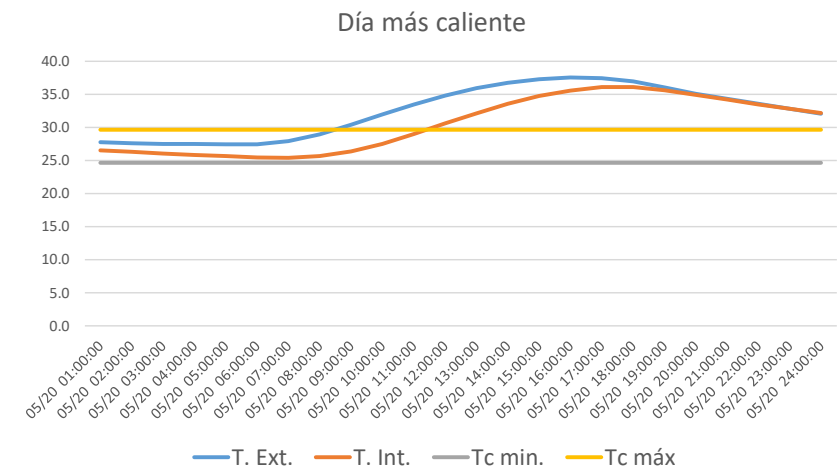


Imagen 5.41.- Elaboración propia con datos obtenidos de EnergyPlus. Ejemplo de gráfica para evaluación del día más caliente del año en Ciudad Ixtepec, Oaxaca. Vivienda construida con block sólido de concreto.

El factor de amortiguamiento térmico y el índice de desfase térmico son dos valores que se obtuvieron también para complementar los análisis. Estos nos indican el comportamiento de la curva sinusoidal graficada, en este caso, comparando las curvas obtenidas de temperatura exterior (Text) y temperatura interior (Tint) y tomando como base que la Text es nuestra temperatura inicial, podemos calcular el achatamiento de la segunda curva (Tint) con respecto a la primera y su respectivo desfase, también con respecto a la primera. Esto, en sentido térmico significa que la temperatura exterior ingresa a la vivienda a través de los materiales constructivos a una velocidad determinada por las propiedades de los mismos y esto genera un retraso (desfase térmico) y una atenuación del flujo (amortiguamiento térmico) que puede ser cuantificado.

Estos valores se calculan a partir de las siguientes ecuaciones. Los datos se obtienen suponiendo que se está evaluando la temperatura de un día específico.

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.amb} - \text{min.T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T.amb}$$

Donde:

máx.T.int. = Temperatura máxima interior

min.T.int. = Temperatura mínima interior

máx.T.amb.= Temperatura máxima del ambiente

min.T.amb.= Temperatura mínima del ambiente

μ = Amortiguamiento térmico

tTI= Desfase térmico

Cabe mencionar, que, al calcular el amortiguamiento térmico, este generalmente proporcionará un valor por encima de una unidad o por debajo. Si el valor obtenido es 1 o más, significa que el material constructivo tiene una baja capacidad de amortiguamiento térmico, sin embargo, si el valor obtenido es menor a 1, representa que es un buen amortiguador térmico en la medida en que disminuya este valor.

5.9.- Cálculo de capacidad calorífica por metro cuadrado de área y resistencia térmica

Una vez obtenidos los resultados para todos los casos de estudio, se procedió a complementar con un estudio referido a la capacidad calorífica y resistencia térmica enfocada en los materiales constructivos. Esto con el objetivo de conocer individual y conjuntamente su capacidad para absorber calor y su resistencia al mismo. De esta manera, al realizar las conclusiones, será más fácil determinar los factores que influyeron para generar “x” o “y” temperatura al interior de la vivienda y por consiguiente, mejorar en un futuro la configuración de los sistemas constructivos.

- Capacidad calorífica por unidad de área

La capacidad calorífica de un sistema constructivo por unidad de área (simbolizado como C”), se refiere a la capacidad de almacenar calor de una sustancia (o sistema constructivo) por unidad de área y se

obtiene mediante el producto del calor específico (J/kg-K) por la densidad (kg/m³) por el espesor de la sustancia (m), por lo que sus unidades son J/m²-K.

$$C'' = \rho * ce * x$$

Donde:

C''= Capacidad calorífica por unidad de área

ρ = Densidad

ce= Calor específico

x= Espesor del material

En el caso de un muro elaborado de una sola capa, hipotéticamente, la capacidad calorífica sería únicamente la de esa capa. Hablando de muros de varias capas, el proceso de cálculo tiene que hacerse por cada capa que constituye el muro. Tomando como ejemplo un muro cuya capa exterior sea de mortero, la siguiente capa de tabique y la interior de yeso, tendría que calcularse la capacidad calorífica de la capa del mortero (Capacidad del mortero = densidad del mortero x calor específico del mortero x el espesor de la capa de mortero), la del tabique (Capacidad del tabique = densidad del tabique x calor específico del tabique x espesor del tabique) y la del yeso (Capacidad del yeso = densidad del yeso x calor específico del yeso x espesor del yeso); calculadas las tres capacidades caloríficas mencionadas (mortero, tabique y yeso) se tendrían que sumar para obtener la capacidad calorífica del muro (Capacidad del muro = Capacidad del mortero + Capacidad del tabique + Capacidad del yeso). Este mismo proceso tendría que realizarse con cualquier muro, cubierta e, incluso, pisos y entrepisos.

- Resistencia térmica

La resistencia térmica es la oposición natural que ofrece una sustancia al flujo de calor ocasionado por una diferencia de temperaturas. Esta resistencia térmica viene de la relación entre el espesor del material (x) dada en metros y la conductividad térmica del material (k) dada en W/m*K, como consecuencia, sus unidades son m²-K/W.

$$R = \frac{x}{k}$$

Cuando el valor de R se acerca a cero significa que la resistencia al flujo de calor disminuye. Si el valor de R se va alejando de cero significa que la resistencia al flujo de calor aumenta.

Los sistemas constructivos son elementos de transferencia de calor hacia el espacio en función de dos aspectos fundamentales: la facilidad o dificultad de que el calor sea conducido a través de los sistemas constructivos (donde entra la resistencia térmica por unidad de área o valor R) y la masa térmica o efecto de inercia térmica (donde entra la capacidad calorífica por unidad de área, C'').

Poniendo un ejemplo, si compara dos edificios, el primero con un valor R equivalente a la mitad del valor R del segundo, habrá diferencias en la transferencia de calor; en otras palabras, el primer edificio será dos veces más aislante que el segundo (o bien, el segundo será dos veces más conductor de calor que el primero). Siguiendo la comparativa propuesta, si el segundo edificio tiene una capacidad calorífica C'' por unidad de área del doble que el primer edificio, significará que el

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

primer edificio almacena la mitad de la energía que el segundo (o bien, el segundo es capaz de almacenar el doble de energía que el primero).

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos para ambos valores en los casos de estudio:

Ixtepec, Oaxaca			
Valores de capacidad calorífica por unidad de área (C")			
	Bahareque	Block de concreto	Ladrillo
Muros	160,349.4 J/m ² -K	490,035.2 J/m ² -K	211,635.2 J/m ² -K
Techumbre	28,410.9 J/m ² -K	246,783 J/m ² -K	246,783 J/m ² -K

Tabla 5.9.- Elaboración propia con base en las propiedades termofísicas de los materiales constructivos. Capacidad calorífica por unidad de área de viviendas en Ixtepec, Oaxaca.

Ixtepec, Oaxaca			
Valores de resistencia térmica por unidad de área (R)			
	Bahareque	Block de concreto	Ladrillo
Muros	0.331 m ² -K/W	0.129 m ² -K/W	0.141 m ² -K/W
Techumbre	0.182 m ² -K/W	0.068 m ² -K/W	0.068 m ² -K/W

Tabla 5.10.- Elaboración propia con base en las propiedades termofísicas de los materiales constructivos. Resistencia térmica por unidad de área de viviendas en Ixtepec, Oaxaca.

Yanhuitlán, Oaxaca			
Valores de capacidad calorífica por unidad de área (C")			
	Adobe	Block de concreto	Ladrillo
Muros	615,886.9 J/m ² -K	490,035.2 J/m ² -K	211,635.2 J/m ² -K
Techumbre	34,893.4 J/m ² -K	246,783 J/m ² -K	246,783 J/m ² -K

Tabla 5.11.- Elaboración propia con base en las propiedades termofísicas de los materiales constructivos. Capacidad calorífica por unidad de área de viviendas en Yanhuitlán, Oaxaca.

Yanhuitlán, Oaxaca			
Valores de resistencia térmica por unidad de área (R)			
	Adobe	Block de concreto	Ladrillo
Muros	0.416 m ² -K/W	0.129 m ² -K/W	0.141 m ² -K/W
Techumbre	0.213 m ² -K/W	0.068 m ² -K/W	0.068 m ² -K/W

Tabla 5.12.- Elaboración propia con base en las propiedades termofísicas de los materiales constructivos. Resistencia térmica por unidad de área de viviendas en Yanhuitlán, Oaxaca.

Tlacoahuaya, Oaxaca			
Valores de capacidad calorífica por unidad de área (C")			
	Adobe	Block de concreto	Ladrillo
Muros	653,213.4 J/m ² -K	490,035.2 J/m ² -K	211,635.2 J/m ² -K
Techumbre	20,817.4 J/m ² -K	246,783 J/m ² -K	246,783 J/m ² -K

Tabla 5.13.- Elaboración propia con base en las propiedades termofísicas de los materiales constructivos. Capacidad calorífica por unidad de área de viviendas en Tlacoahuaya, Oaxaca.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Tlacoahuaya, Oaxaca			
Valores de resistencia térmica por unidad de área (R)			
	Adobe	Block de concreto	Ladrillo
Muros	0.441 m ² -K/W	0.129 m ² -K/W	0.141 m ² -K/W
Techumbre	0.082 m ² -K/W	0.068 m ² -K/W	0.068 m ² -K/W

Tabla 5.14.- Elaboración propia con base en las propiedades termofísicas de los materiales constructivos. Resistencia térmica por unidad de área de viviendas en Tlacoahuaya, Oaxaca.

6.- Discusión /Análisis de resultados

Para efectos de lograr una comparación efectiva, se determinó hacer un análisis comparativo por cada zona climática, la primera zona de estudio, con clima subtropical (Ciudad Ixtepec), la segunda, con clima semifrío (Santo Domingo Yanhuitlán) y la tercera, con clima semicálido (San Jerónimo Tlacoahuaya).

De esta manera, los casos de estudio que comprenden la zona de estudio serán comparados entre sí, partiendo del hecho que se pretende conocer el desempeño de 3 sistemas constructivos diferentes en un mismo clima y así determinar, cuál se desempeña mejor considerando las variables que lo afectan.

6.1.- Ciudad Ixtepec

En el caso de los 3 casos de estudio situados en Ciudad Ixtepec, resultó visible que la vivienda vernácula (bahareque) proveyó la mayor cantidad de horas de confort, ya que estas representaron un 67.5% del total que hay en un año (ver Tabla 5.15).

Comparativa de casos de estudio - Porcentaje de horas de comodidad			
Material	% Horas frías	% Horas calientes	% Horas confort
Ciudad Ixtepec, Oaxaca			
Block de concreto	3.3	37.1	59.5
Ladrillo rojo	9.6	38.5	52
Bahareque	27.8	4.7	67.5

Tabla 5.15.- Elaboración propia con base en los resultados de las simulaciones térmicas llevadas a cabo en EnergyPlus. Horas de comodidad en las viviendas de Ciudad Ixtepec.

Al comparar los sistemas constructivos industrializados (block de concreto y ladrillo rojo), resulta visible que el block presenta un factor de amortiguamiento mayor que en el caso del ladrillo (ver Tabla 5.16). Como ya se sabe, el factor de amortiguamiento contribuye a disminuir las oscilaciones de la temperatura interior respecto de la exterior, sin embargo, en este caso el valor no resulta suficiente, ya que las horas calientes a lo largo del año siguen representando un 37.1% del total.

En el caso de la vivienda con ladrillo rojo, a pesar de que se presenta un desfase térmico observado en las gráficas (ver apéndice) tanto en el día más frío como en el más caliente, el amortiguamiento es bajo (ver Tabla 5.16), esto significa que los muros permiten el flujo de calor, así como la pérdida de este de manera significativa durante

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

el día. Este mismo desfase genera que en determinada hora del día, la temperatura exterior pudiera estar en su punto más caliente del día, y esa misma temperatura se presenciara dentro de la vivienda horas más tarde, generando incomodidad. Cabe mencionar que la vivienda con sistema constructivo de ladrillo rojo resultó ser el caso con la menor cantidad de horas de confort (52%) en comparación con los otros dos casos de estudio situados en Ciudad Ixtepec (59.5% en el caso del block de concreto y 67.5% en el caso del bahareque).

Ciudad Ixtepec, Oaxaca			
		Factor de amortiguamiento térmico (DF)	Desfasamiento térmico (tTL)
Block de concreto	Día más caliente del año	1.05	1
	Día más frío del año	0.73	2
Ladrillo rojo	Día más caliente del año	1.34	2
	Día más frío del año	1.03	2
Bahareque	Día más caliente del año	0.80	0
	Día más frío del año	0.53	0

Tabla 5.16.- Elaboración propia con base en los resultados de las simulaciones térmicas llevadas a cabo en EnergyPlus. Factor de amortiguamiento térmico y desfase térmico en las viviendas de Ciudad Ixtepec.

Al observar los resultados obtenidos en la vivienda vernácula, es visible que el porcentaje de horas frías es considerablemente mayor en comparación con los sistemas industrializados, esto se debe a que el factor de amortiguamiento (DF) es mayor, por lo tanto, hay

momentos del día en que la temperatura del espacio interior desciende incluso por debajo de la temperatura de confort. En contraste a esto, las horas calientes representaron sólo en 4.7% del total, lo cual resulta sorprendente al tratarse de un lugar con clima tropical donde la mayor parte del tiempo la temperatura del ambiente exterior se caracteriza por ser caliente.

Otra característica también notable en la vivienda vernácula es el hecho de que al observar las gráficas que corresponden a las simulaciones térmicas (ver apéndice), se notó que no existe desfase térmico para este caso. Esto se debe a que la masa térmica de la vivienda no posee un espesor que permita al calor almacenarse durante varias horas, sin embargo, como ya se mencionó, si es visible un notable amortiguamiento térmico. Este es visible, por ejemplo, en el día más caliente del año, en el cual, la temperatura exterior llega en su punto más alto a 37.6°C, mientras que en el interior se mantiene en 31.5°C.

Resulta ser que, los valores como el amortiguamiento térmico y el desfase térmico influyen directamente en los resultados, indicando la capacidad del sistema constructivo para proveer confort térmico mediante efecto de inercia térmica. Si el amortiguamiento térmico es mayor, entonces las temperaturas interiores se verán atenuadas con respecto a las exteriores, esto es visible en el caso de la vivienda vernácula en la que el valor de amortiguamiento térmico es mayor en comparación con el de las viviendas industrializadas. Esto se puede observar en las gráficas de simulación térmica (ver apéndice) donde es visible que la curva sinusoidal presenta un decrecimiento en la cresta. Esta disminución de la pendiente de la curva supone que las temperaturas a lo largo del día son más estables al interior de la vivienda y, por lo tanto, esto se traduce en un mayor número de horas de confort.

Al realizar los cálculos de capacidad calorífica por unidad de área (ver Tabla 5.9), la vivienda vernácula posee el sistema constructivo con la menor capacidad para almacenar calor, en contraste con el block de concreto que posee el valor más elevado. Con respecto al valor obtenido de resistencia térmica (ver Tabla 5.10), se observó que la vivienda vernácula posee los valores más elevados (tanto en techumbre como en muros), indicando con esto una mayor dificultad de conducción de calor hacia el interior.

A manera general, enumerando cada una de las viviendas se concluye que, debido al bajo valor de amortiguamiento térmico en el caso del ladrillo, este no resulta un sistema constructivo adecuado para este tipo de clima y esto aplica tanto para días fríos como para días calientes. En el caso del block, a pesar de que tiene un mayor valor de amortiguamiento térmico que en el caso del ladrillo, esto no resulta suficiente para evitar las horas calientes, de esta manera, es probable que para este tipo de vivienda se recurra a métodos mecánicos de climatización como ventiladores y aire acondicionado. Por último, con base en los resultados obtenidos, el bahareque indica estar enfocado en mantener fresco el ambiente interior y proveer un porcentaje alto de horas de confort, esto lo convierte en el sistema constructivo más adecuado para este tipo de clima en comparación a los sistemas industrializados.

6.2.- Santo Domingo Yanhuitlán

En los 3 casos de estudio situados en Santo Domingo Yanhuitlán, los resultados arrojaron que la vivienda con sistema constructivo de block de concreto proveyó la mayor cantidad de horas de confort, ya que estas representaron el 45.7% del total en un año, en contraste con el

caso del ladrillo rojo que arrojó un total de 33.9% del total en un año (ver Tabla 5.17).

Sin embargo, aunque el caso de la vivienda con block de concreto arrojó el mayor número de horas de confort, no es un valor suficiente para concluir que resulta la mejor opción como sistema constructivo de acuerdo con el clima del lugar, pues el porcentaje de horas frías representa un 43.6% del total, de manera que una parte importante del año se deberá recurrir a sistemas de climatización mecánicos o tradicionales (fogones, chimeneas) para poder considerarlo un espacio confortable.

Con respecto al sistema constructivo vernáculo (vivienda de adobe), resulta visible que se desenvuelve de una forma en que la vivienda permanece fría durante la mayor parte del año (60.2% del total), mientras que las horas calientes representan un porcentaje muy bajo (0.3%) y las horas de confortabilidad no representan ni la mitad del total (39.4%).

Comparativa de casos de estudio - Porcentaje de horas de comodidad			
Material	% Horas frías	% Horas calientes	% Horas confort
Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca			
Block de concreto	43.6	10.7	45.7
Ladrillo rojo	48	18.1	33.9
Adobe	60.2	0.3	39.4

Tabla 5.17.- Elaboración propia con base en los resultados de las simulaciones térmicas llevadas a cabo en EnergyPlus. Horas de comodidad en las viviendas de Yanhuitlán.

Este caso en particular se tuvo que investigar más a fondo, ya que resultó dudoso obtener resultados que situaran a la vivienda vernácula por debajo de la de block en términos de confort, debido a que esta posee una mayor cantidad de masa térmica en los muros, razón por la cual, se esperaría que el calor absorbido durante el día pudiera liberarse horas más tarde (cuando baja la temperatura) para mantener el confort.

Con el objetivo de conocer el flujo y transferencia de calor en los materiales de este sistema constructivo, se calculó la capacidad calorífica y resistencia térmica. Según los datos obtenidos en la Tabla 5.11, resultó correcto suponer que los muros de la vivienda de adobe serían los que contienen una mayor capacidad de almacenamiento de calor (representan el valor más alto), sin embargo, resulta notable también, que, para el caso de la techumbre de esta misma, el valor de capacidad calorífica resultó un valor considerablemente más bajo en comparación con las techumbres de las viviendas industrializadas.

Sin embargo, algo que resultó determinante para la comprensión de resultados fue el valor de resistencia térmica obtenido en muros y techumbre (ver Tabla 5.12) (los valores son mayores en comparación con los otros dos sistemas constructivos), esto representa que el calor por asoleamiento no fluirá tan fácilmente a través de dichos materiales. La techumbre en particular, se sabe que posee varias capas en su composición. De interior a exterior se compone de: tejamanil, maderas cuadradas (tipo polín), carrizo y teja de barro.

Esto indica que, el hecho de que esté compuesta por varias capas de material y considerando que la techumbre es el elemento que recibe mayor radiación solar (por su inclinación y exposición), para este caso se vuelve necesario que la vivienda absorba el calor suficiente para evitar lapsos de bajas temperaturas. Sin embargo, se sabe que el

clima del lugar oscila entre 13-18°C la mayor parte del año (Normales Climatológicas por Estado S.M.N.), además de que se encuentra en una región montañosa con una elevación de 2206 m.s.n.m., por lo tanto, resulta factible concluir que dicha vivienda quedará ausente de calor durante largos periodos.

Otro dato que resultó de interés fue la observación de las gráficas de la simulación térmica para el día más caliente y el día más frío (ver apéndice). En estas resulta visible que, para la vivienda vernácula, a pesar de que los datos demuestran que la mayor parte del año consta de horas frías (60.2% del total), la curva sinusoidal se ve visiblemente atenuada, esto se debe a que el amortiguamiento térmico resultó ser uno de los valores más altos en los 9 casos de estudio (ver Tabla 5.18). Tomando, por ejemplo, el día más frío del año (ver apéndice), se indica que el 13 de enero, la temperatura exterior llega a los 5°C a las 7:00 a.m., sin embargo, la temperatura registrada al interior de la vivienda en ese mismo día y a la misma hora es de 13.9°C.

Por esta razón, a pesar de que el modelo de confort indica que existe un número considerable de horas fuera del rango de confort, esta curva se mantiene muy cerrada (aproximándose al rango de confortabilidad), de esta manera puede concluirse que la vivienda puede percibirse fría, pero a pesar de esto, no existen fluctuaciones bruscas de temperatura al interior.

Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca			
		Factor de amortiguamiento térmico (DF)	Desfasamiento térmico (tTL)
Block de concreto	Día más caliente del año	0.65	1
	Día más frío del año	0.61	1
Ladrillo rojo	Día más caliente del año	0.87	2
	Día más frío del año	0.90	1
Adobe	Día más caliente del año	0.39	-1
	Día más frío del año	0.37	1

Tabla 5.18.- Elaboración propia con base en los resultados de las simulaciones térmicas llevadas a cabo en EnergyPlus. Horas de comodidad en las viviendas de Yanhuitlán.

Enumerando los sistemas constructivos, se puede concluir que, para el caso del ladrillo, este no funciona como barrera para atenuar los flujos de temperatura entre el interior y el exterior, por lo tanto, no resulta viable para climas semifríos o con bajas temperaturas. En el caso del block de concreto, se sabe que los habitantes de la vivienda vivirán largos periodos de incomodidad por horas frías, por lo que serán requeridos sistemas de calefacción durante una buena parte del año. Para el caso de la vivienda de adobe, las características constructivas aislantes que posee (en techumbre) impiden que reciba calor durante la mayor parte del año, sin embargo, cumple una buena función amortiguando los flujos bruscos de la temperatura que se dan en el exterior, manteniendo una temperatura interior cercana a los niveles de confort. Aún con esto, no resulta el modelo de vivienda idóneo para este tipo de clima.

6.3.- San Jerónimo Tlacoahuaya

En los 3 casos de estudio situados en San Jerónimo Tlacoahuaya, resultó visible que la vivienda con el sistema constructivo vernáculo confiere la mayor cantidad de horas de confort representando más de la mitad del total (58%) en comparación con el block de concreto que representa el 52.4% y el ladrillo rojo que resultó en apenas el 35.6% de sus horas totales (ver Tabla 5.19).

La tabla 5.19 también muestra, que a pesar de que la zona de estudio se caracteriza por ser de clima semicálido, en el caso de la vivienda vernácula, el porcentaje de horas calientes representan un porcentaje nulo. Esto se puede atribuir, a las cualidades de inercia térmica de los muros de adobe, que mantienen la vivienda fresca.

En el caso de la vivienda de ladrillo, que representa el caso peor desempeñado en confort, al observar las gráficas para el día más caliente y el día más frío (ver Apéndice), es visible que la temperatura interior fluye casi paralelamente con la temperatura exterior. Esto resulta visible en la Tabla 5.20, donde se indica que el factor de amortiguamiento térmico es tendiendo a bajo, mientras tanto, las horas nocturnas de calor son causadas por el desfasamiento térmico que posee. De esta manera, a pesar de que en horas nocturnas la temperatura exterior se mantenga dentro del rango de confort, al interior de la vivienda será percibido como caliente.

Resulta importante mencionar, que a pesar que el block de concreto no resultó ser el sistema constructivo con mejor desempeño, al observar las gráficas para el día más caliente y el día más frío, puede notarse que posee un buen desempeño en cuanto a su amortiguamiento térmico, de manera que, aunque las fluctuaciones de

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

temperatura sean muy agudas, son atenuadas en gran medida (ver Apéndice).

Comparativa de casos de estudio - Porcentaje de horas de comodidad			
Material	% Horas frías	% Horas calientes	% Horas confort
San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca			
Block de concreto	29.7	17.9	52.4
Ladrillo rojo	38.7	25.7	35.6
Adobe	42	0	58

Tabla 5.19.- Elaboración propia con base en los resultados de las simulaciones térmicas llevadas a cabo en EnergyPlus. Horas de comodidad en las viviendas de Tlacoahuaya.

San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca			
		Factor de amortiguamiento térmico (DF)	Desfasamiento térmico (tTL)
Block de concreto	Día más caliente del año	0.53	1
	Día más frío del año	0.61	1
Ladrillo rojo	Día más caliente del año	0.80	2
	Día más frío del año	0.87	2
Adobe	Día más caliente del año	0.17	1
	Día más frío del año	0.16	0

Tabla 5.20.- Elaboración propia con base en los resultados de las simulaciones térmicas llevadas a cabo en EnergyPlus. Amortiguamiento y desfase térmico de viviendas en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

Al observar las gráficas (ver Apéndice) obtenidas para el caso de la vivienda de adobe, se notará que esta resultó tener el valor más alto en amortiguamiento térmico (ver Tabla 5.20), de esta manera, la curva sinusoidal se percibe casi plana. Esto resulta beneficioso en días con fluctuaciones altas de temperatura.

En el caso particular del día más caliente del año, a pesar de las grandes variaciones de temperatura al exterior, la vivienda se mantiene confortable las 24 horas del día. Esto indica que este tipo de vivienda resulta adecuada para mantener fresca la temperatura del espacio interior.

7.- Conclusiones

La vivienda vernácula, ampliamente utilizada en México durante mucho tiempo, hoy está en desuso a raíz del incremento poblacional y la publicidad de los materiales industrializados que se dice, son mejores. Ahora, pese a que se vive en una época con un buen avance en el ámbito de la tecnología, el planeta está sufriendo las consecuencias de un uso desmedido de los recursos. Resulta indispensable realizar más estudios que involucren todos los aspectos que conlleva la creación de un material constructivo, tales como su proceso de fabricación, distribución, tiempo de vida, rendimiento térmico y proceso de desuso. Sería útil implementar normas más estrictas tomando en cuenta el aspecto ambiental y el confort del propio usuario contrario a lo que se hace actualmente: vender productos de mala calidad con procesos dañinos para el medio ambiente.

El presente estudio representa sólo una pequeña parte de lo que aporta a la investigación en temas de confort para los materiales

constructivos, sin embargo, los resultados fueron concluyentes e ilustrativos, ya que representan casos reales de materiales y climas típicos de México.

Según los resultados, se sabe que, si bien las viviendas vernáculas no erradican del todo el uso de sistemas mecánicos de climatización, si representan un ahorro energético considerable de ser utilizados específicamente en el clima mexicano. En comparación a esto, el block de concreto resultó un material cuyo desempeño energético fue más adecuado que el del ladrillo al momento de amortiguar las oscilaciones de temperatura dentro del espacio. El ladrillo resultó ser un sistema constructivo poco efectivo para los tres tipos de clima involucrados en el estudio.

La cualidad más valiosa de las viviendas construidas en tierra resulta ser su inercia térmica, capacidad que les permite atrapar el calor y liberarlo varias horas después, cuando baja la temperatura en el ambiente exterior, generando así un mayor número de horas de confort. Sin embargo, con base en los resultados obtenidos en este estudio, resulta visible que esta misma tipología de viviendas térreas, no son la opción óptima para climas semifríos o de temperaturas más bajas. Esto se debe a que en estos climas el porcentaje de días fríos es alto, de esta manera el calor absorbido por muros es transferido al interior, pero esto no garantiza llegar a los niveles óptimos de confort durante las 24 horas del día. Específicamente en el caso de Santo Domingo Yanhuitlán, resulta ser que la ubicación del lugar con una altitud mayor a los otros casos de estudio, aunado a su temperatura media anual (12-18°C), demandan elementos constructivos que puedan captar la mayor cantidad de calor para garantizar un buen desempeño, es decir, tanto los muros como la cubierta empleados deben combinarse para captar y almacenar el calor.

Como ya se mencionó, si bien el objetivo de este estudio fue ofrecer una visión general que involucrara casos reales, aún falta mucho campo por abarcar, pues México es un país muy diverso, con climas y topografías diferentes que implican diversas adaptaciones a los mismos. Si se busca el confort, no es posible la implementación de una misma tipología que cubra la totalidad de viviendas en el país, prueba de esto es la vivienda vernácula, que busca adaptarse tomando en cuenta las respuestas del clima.

Es un hecho que por el acelerado crecimiento poblacional resulta poco factible hoy en día la completa implementación de la vivienda vernácula por la naturaleza artesanal que conlleva su construcción, sin embargo, la autora concluye que hay algunos elementos en su sistema constructivo que pueden tomarse en cuenta mientras se sigue en la búsqueda por materiales constructivos óptimos.

8.- Bibliografía

- Aguirre Pliego, M. A. (2009). La casa tradicional de San Pedro Ixcatlán. *Horizontes de Arquitectura*, 3.
- Álvarez Gallego, S. (2015). La huella de carbono de los productos. Barcelona: AENORediciones.
- Arquizy. (18 de Febrero de 2020). *Arquizy*. Obtenido de <https://arquizy.com/similitud-de-la-arquitectura-vernacula-del-centro-norte-de-mexico-con-la-de-otros-paises-de-latitudes-similares/>
- Beluzo, N., Bellone, L., Nocetti, F., & Piccirilli, J. (2015). *Materialoteca: perfil ambiental de materiales*. Buenos Aires: Diseño Editorial.
- Bodach, S., Lang, W., & Hamhaber, J. (2014). Climate responsive building design strategies of vernacular architecture in Nepal. *Science Direct*, 16.
- Calkins, M. (2009). *Materials for sustainable sites*. New Jersey: John Wiley and sons, inc.
- Carazas Aedo, W., & Rivero Olmos, A. (2002). *Bahareque: Guía de construcción parasísmica*. Francia: CRATerre.
- Carbon Footprint*. (2015). Obtenido de <https://www.carbonfootprint.com/warming.html>
- Castillo Mendoza, L. (28 de Agosto de 2013). *Ética y urbanidad desde el I.P.C*. Obtenido de <http://todosalcuento.blogspot.com/2013/08/casa-de-bahareque.html>
- Cement Sustainability Initiative. (Julio de 2009). *Federación interamericana del cemento*. Obtenido de <http://ficem.org/>
- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico*. México: McGraw-Hill Interamericana editores, S.A. de C.V.
- Centro Nacional de Investigación para el desarrollo - Pontificia Universidad Católica del Perú. (1995). *Nuevas casas resistentes de adobe*. 24.
- Climablock Construcción Sostenible*. (s.f.). Obtenido de *Climablock Construcción Sostenible*: <http://www.climablock.com/Construccion%20Sostenible-02.06-Inercia-termica-Bloque-aislante.htm>
- Corporación de Desarrollo Tecnológico, C. (2012). *Evaluación de daños y soluciones para construcciones en tierra cruda*. Santiago de Chile: Ediciones Raizfuturo Ltda.
- De Leo, A. (2015). *Catálogo de Arquitectura Vernácula de Oaxaca*. Oaxaca: Secretaría de las Culturas y Arte de Oaxaca.
- Desogus, G., Felice Cannas, L. G., & Sanna, A. (2016). Bioclimatic lessons from Mediterranean vernacular architecture: The Sardinian case study. *Science Direct*, 15.
- EnergyPlus. (2015). *Getting Started with EnergyPlus : Basic concepts manual - Essential information you need about running EnergyPlus*. *EnergyPlus Documentation*, 78.
- Estándar ASHRAE 55*. (13 de Agosto de 2019). Obtenido de *Seiscubos*: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/estandar-ashrae-55>

- Fernández Salgado, J. M. (2011). *Eficiencia energética en edificios*. Madrid: Antonio Madrid Vicente Ediciones.
- Gama Castro, J. E., Cruz y Cruz, T., Pi Puig, T., Sánchez Pérez, S., Alcalá Martínez, R., Cabadas Báez, H., . . . Vilanova de Allende, R. (15 de Febrero de 2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*, págs. 177-188.
- García, R., & Amills, R. (2006). *Arquitectura Bioclimática. Urbanismo*, 9.
- Garza, E. (4 de Junio de 2019). *Página Oficial Huinalá*. Obtenido de <https://www.facebook.com/purohuinala/posts/3156405621040047>
- Gestor Energético Econova. (18 de Abril de 2018). *Gestor Energético Econova*. Obtenido de Gestor Energético Econova: <https://www.gestor-energetico.com/aprender-design-builder/>
- Graham McHenry, Jr., P. (1996). *Adobe: cómo construir fácilmente*. México: Trillas.
- Guerra Menjívar, M. R. (2012). *Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones. Ing-novación*, 123-133.
- Guerrero Baca, L. (2007). *Arquitectura en tierra: hacia la recuperación de una cultura constructiva*. México.
- Guerrero Baca, L. F. (2007). *Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. Apuntes*, 182-201.
- Herrera Castro, S., & Hernández Spinola, F. (2017). *Habitar en la arena*. En M. d. Vizcarra de los Reyes, *Naturaleza en el habitar* (pág. 169). México: Facultad de Arquitectura.
- Hideaway Report. (20 de Julio de 2018). *Hideaway Report*. Obtenido de <https://www.hideawayreport.com/articles/view/new-mexico-pueblo-tours/>
- Jiménez Vera, R. G. (2009). *Arquitectura Vernácula en Santo Domingo Tehuantepec. Horizontes de Arquitectura*, 6.
- Kreith, F., & Krieder, J. F. (2000). *Principles of solar engineering*. Filadelfia: Hemisphere Publishing Corporation - McGraw-Hill Book Company.
- Laboratorio de Procedimientos y Sistemas Constructivos Tradicionales. (27 de Agosto de 2019). *Facultad de Arquitectura UNAM*. Obtenido de <https://arquitectura.unam.mx/procedimientos-y-sistemas-constructivos.html>
- Lira Oliver, A., & Vilchis Martínez, R. S. (2017). *Thermal Inertia Performance Evaluation of Light-Weighted Construction Space Envelopes Using Phase Change Materials in Mexico City's Climate. MDPI: Technologies*, 23.
- Luna Alonso, G. (2019). *Evaluación de la masa térmica de materiales vernáculos, contemporáneos y de alto desempeño: adobes, aislantes térmicos, tabique rojo recocido, concreto y materiales de cambio de fase*. Ciudad de México, México.
- Meixueiro Nájera, G. (4 de Enero de 2016). *Instituto Estatal Electoral y de Participación Ciudadana de Oaxaca*.

Obtenido de <http://www.ieepco.org.mx/articulos-opinion/oportunidades-para-oaxaca-en-2016>

Minke, G. (1994). Manual de construcción en tierra. Fin de Siglo.

Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño climático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, S.L.

Ordoñez García, A. (2014). Manual de ayuda DesignBuilder en español. *Sol.arq : Soluciones arquitectónicas sustentables*, 417.

Palme, M., Guerra, J., & Alfaro, S. (27 de Mayo de 2014). Thermal Performance of Traditional and New Concept Houses in the Ancient Village of San Pedro De Atacama and Surroundings. *Sustainability*, pág. 17.

Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M. H., & Rudolphi, A. (2007). *Insulating Materials*. Munich: Birkhäuser.

Prieto, V., & Fernández, A. (1994). *Vivienda Campesina en México*. México: Studio Beatrice Trueblood.

R. Mondelo, P., Gregori Torada, E., Comas Úriz, S., Castejón Vilella, E., & Bartolomé Lacambra, E. (2001). *Ergonomía 2: Confort y estrés térmico*. Barcelona: Alfaomega.

Rincón, L., Carrobé, A., Martorell, I., & Medrano, M. (2019). Improving thermal comfort of earthen dwellings in sub-Saharan Africa with passive design. *Journal of Building Engineering*, 20.

Ruiz de Elvira, A. (20 de Noviembre de 2016). El porqué de las cosas. *El mundo*.

Salleh, A. (28 de Abril de 2000). *CSIRO gives mud walls a thumbs down*. Obtenido de ABC Science: <https://www.abc.net.au/science/articles/2000/04/28/121761.htm>

Sánchez Suárez, A. (2006). La casa maya contemporánea: usos, costumbres y configuración espacial. *Península vol. I, núm. 2*, 25.

Sastre Sastre, R., & Muñoz Salinas, F. (2010). Propiedades de los materiales y elementos de construcción. Barcelona: Edicions UPC.

Seiscubos. (13 de Agosto de 2019). *Seiscubos*. Obtenido de <https://www.seiscubos.com/conocimiento/modelos-matematicos-de-confort>

Soudani, L., Woloszyn, M., Fabbri, A., Morel, J.-C., & Grillet, A.-C. (18 de Noviembre de 2016). Energy Evaluation of rammed earth walls using long term in-situ measurements. *Elsevier*, pág. 11.

Wikipedia. (18 de Octubre de 2019). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_de_Ciudad_Ixtepec

Wikipedia. (30 de Abril de 2020). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Municipio_de_Santo_Domingo_Yanhuitl%C3%A1n

Zavalza Bribián, I., Días de Garayo, S., Aranda Usón, A., & Scarpellini, S. (13 de Enero de 2014). *Eco Habitar*. Obtenido de <http://www.ecohabitar.org/analisis-de-ciclo-de-vida-de-los-materiales-de-construccion/>

Zeltia, G. B. (2011). Construir con Tierra (2): Eficiencia Energética. *Low-Tech Magazine*, 3.

Zhiqiang , J. Z., & M. Previtali, J. (2009). Ancient vernacular architecture: characteristics, categorization and energy performance evaluation. *Science Direct*, 9. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/>

Zhiqiang, Z. J., & Previtali, J. M. (2009). Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation. *Elsevier*, 9.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

9.- Anexos:

Intervalos de comodidad térmica para viviendas en Ixtepec, Oaxaca.

Mes	Temperatura media mensual	Tc mínima	Tn	Tc máxima
Enero	25	23.1	25.6	28.1
Febrero	25.9	23.2	25.7	28.2
Marzo	27.4	23.8	26.3	28.8
Abril	29.2	24.4	26.9	29.4
Mayo	30.3	24.6	27.1	29.6
Junio	29.0	24.2	26.7	29.2
Julio	28.6	24.2	26.7	29.2
Agosto	28.9	24.2	26.7	29.2
Septiembre	28	23.9	26.4	28.9
Octubre	27.6	23.9	26.4	28.9
Noviembre	26.9	23.6	26.1	28.6
Diciembre	25.5	23.2	25.7	28.2

Imagen A-001: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en Ixtepec, Oaxaca.

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas comodidad	Total horas del mes	% comodidad
Enero	33	248	463	744	62.2
Febrero	13	308	423	744	56.9
Marzo	20	337	387	744	52.0
Abril	12	318	414	744	55.6
Mayo	19	314	411	744	55.2
Junio	48	236	460	744	61.8
Julio	0	317	427	744	57.4
Agosto	51	291	402	744	54.0
Septiembre	17	230	497	744	66.8
Octubre	41	257	446	744	59.9
Noviembre	18	248	478	744	64.2
Diciembre	27	210	507	744	68.1
Totales	299	3314	5315	8928	
Porcentaje	3.3	37.1	59.5		

Imagen A-002: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en Ixtepec, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
05/20 01:00:00	27.7	26.5	24.6	29.6
05/20 02:00:00	27.6	26.3	24.6	29.6
05/20 03:00:00	27.5	26.1	24.6	29.6
05/20 04:00:00	27.5	25.9	24.6	29.6
05/20 05:00:00	27.4	25.6	24.6	29.6
05/20 06:00:00	27.5	25.4	24.6	29.6
05/20 07:00:00	27.9	25.4	24.6	29.6
05/20 08:00:00	29.0	25.7	24.6	29.6
05/20 09:00:00	30.4	26.4	24.6	29.6
05/20 10:00:00	32.0	27.5	24.6	29.6
05/20 11:00:00	33.5	29.0	24.6	29.6
05/20 12:00:00	34.8	30.6	24.6	29.6
05/20 13:00:00	35.9	32.1	24.6	29.6
05/20 14:00:00	36.8	33.6	24.6	29.6
05/20 15:00:00	37.3	34.7	24.6	29.6
05/20 16:00:00	37.6	35.6	24.6	29.6
05/20 17:00:00	37.4	36.1	24.6	29.6
05/20 18:00:00	36.9	36.1	24.6	29.6
05/20 19:00:00	36.0	35.6	24.6	29.6
05/20 20:00:00	35.1	34.9	24.6	29.6
05/20 21:00:00	34.3	34.2	24.6	29.6
05/20 22:00:00	33.6	33.5	24.6	29.6
05/20 23:00:00	32.8	32.8	24.6	29.6
05/20 24:00:00	32.0	32.2	24.6	29.6

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

36.1° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

25.4° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

37.6° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

27.4° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx. T.int} - \text{min. T.int}}{\text{máx. T.amb} - \text{min. T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx. T.int} - hr \text{ máx. T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

1.05

Desfasamiento térmico (tTL)

1

Imagen A-003: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en Ixtepec, Oaxaca – Día más caliente del año

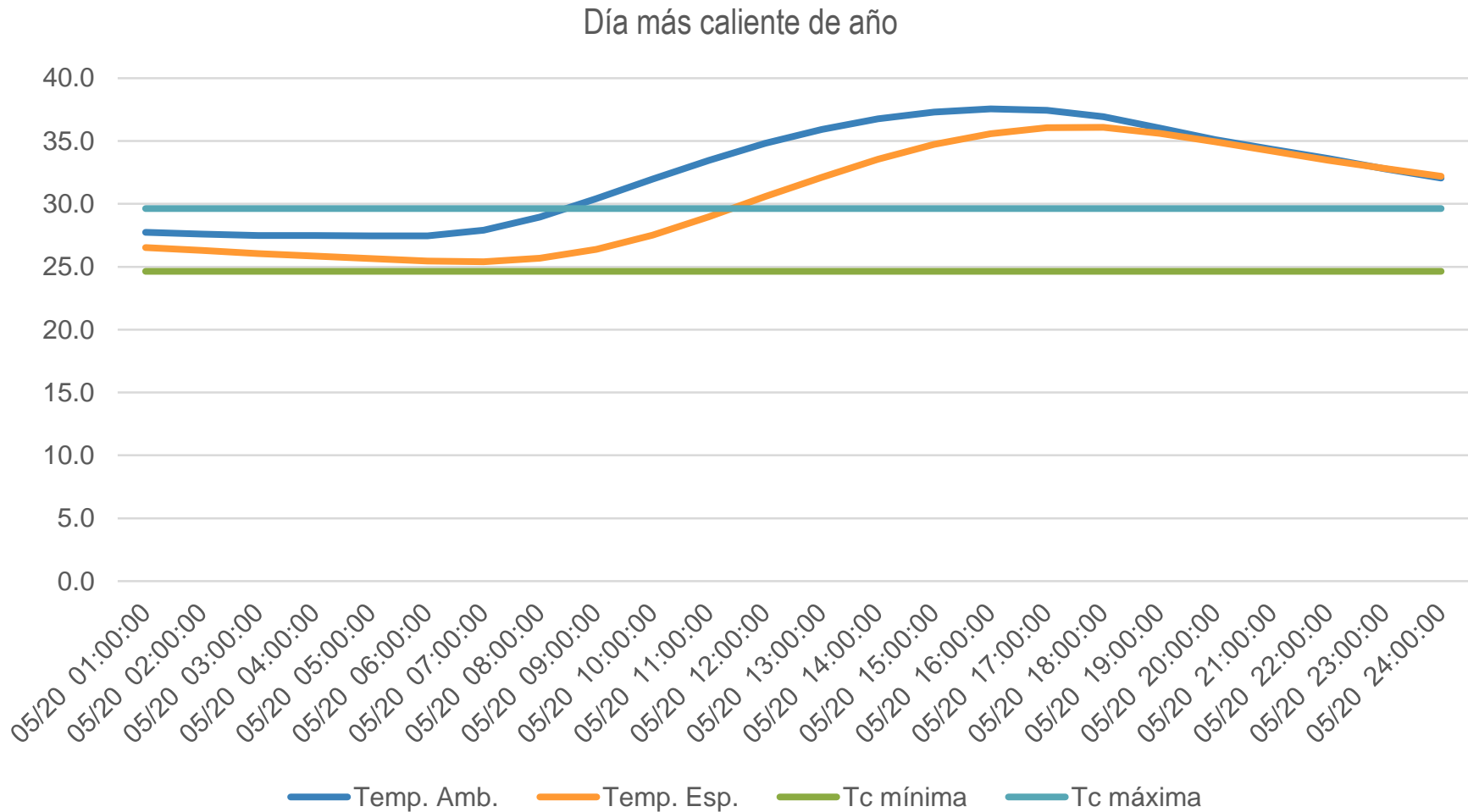


Imagen A-004: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en Ixtepec, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
12/26 01:00:00	21.2	25.5	23.2	28.2
12/26 02:00:00	20.6	24.9	23.2	28.2
12/26 03:00:00	20.0	24.4	23.2	28.2
12/26 04:00:00	19.5	23.9	23.2	28.2
12/26 05:00:00	19.1	23.3	23.2	28.2
12/26 06:00:00	18.8	22.8	23.2	28.2
12/26 07:00:00	18.7	22.4	23.2	28.2
12/26 08:00:00	19.3	22.4	23.2	28.2
12/26 09:00:00	21.0	23.0	23.2	28.2
12/26 10:00:00	23.2	24.2	23.2	28.2
12/26 11:00:00	25.6	25.5	23.2	28.2
12/26 12:00:00	27.6	26.8	23.2	28.2
12/26 13:00:00	29.1	28.3	23.2	28.2
12/26 14:00:00	30.2	29.5	23.2	28.2
12/26 15:00:00	30.7	30.4	23.2	28.2
12/26 16:00:00	30.6	31.0	23.2	28.2
12/26 17:00:00	29.9	31.1	23.2	28.2
12/26 18:00:00	28.6	30.3	23.2	28.2
12/26 19:00:00	27.4	29.5	23.2	28.2
12/26 20:00:00	26.6	28.9	23.2	28.2
12/26 21:00:00	25.8	28.3	23.2	28.2
12/26 22:00:00	25.0	27.7	23.2	28.2
12/26 23:00:00	24.2	27.1	23.2	28.2
12/26 24:00:00	23.4	26.5	23.2	28.2

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

31.1° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

22.4°C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

30.7°C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

18.7°C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

15:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.amb} - \text{min.T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.73

Desfasamiento térmico (tTL)

2

Imagen A-005: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

Vivienda construida con block de concreto en Ixtepec, Oaxaca – Día más frío del año

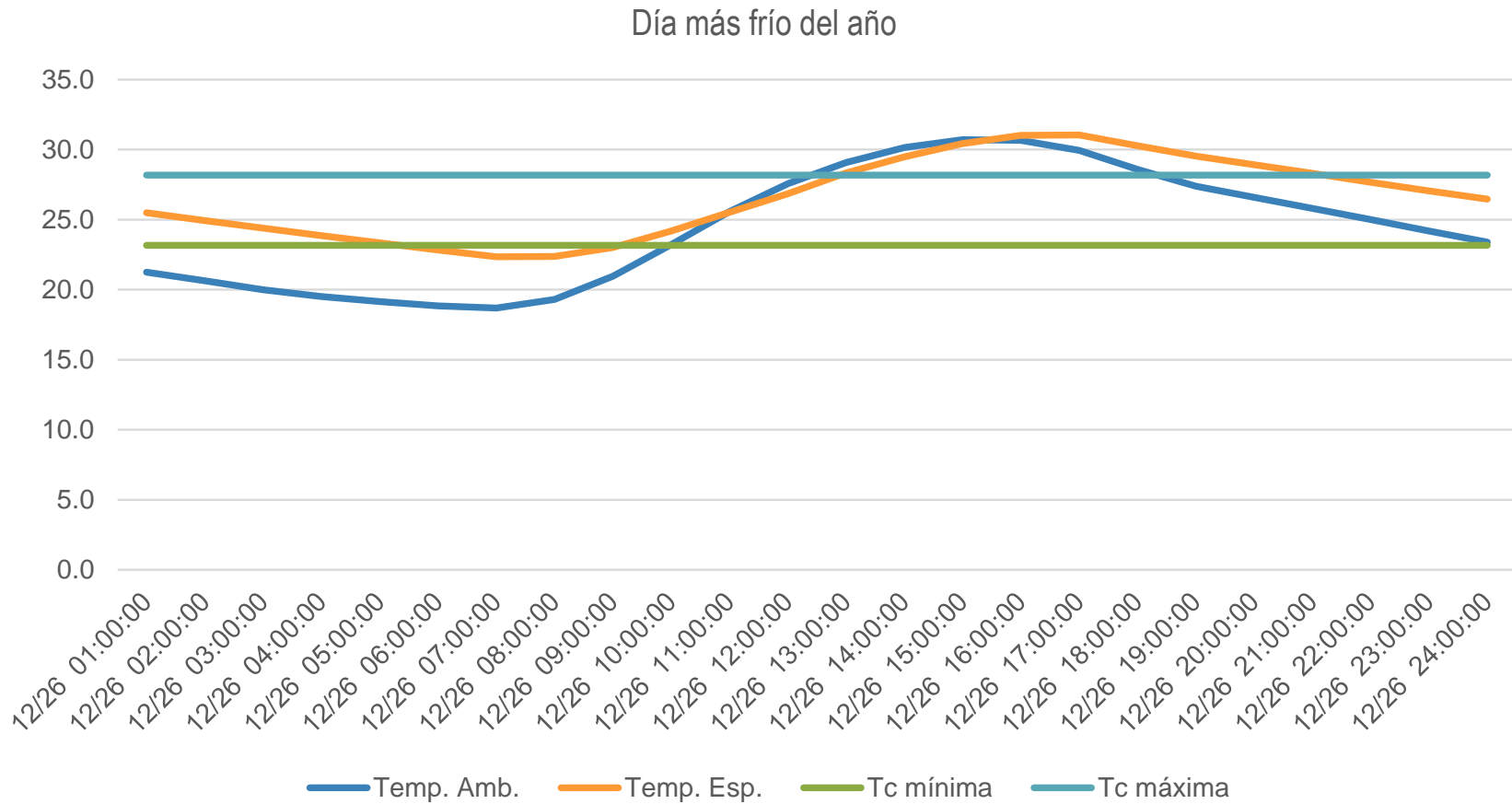


Imagen A-006: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en Ixtepec, Oaxaca.

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas comodidad	Total horas del mes	% de comodidad
Enero	82	263	399	744	53.6
Febrero	50	307	387	744	52.0
Marzo	67	331	346	744	46.5
Abril	73	322	349	744	46.9
Mayo	60	322	362	744	48.7
Junio	88	254	402	744	54.0
Julio	37	319	388	744	52.2
Agosto	79	299	366	744	49.2
Septiembre	81	245	418	744	56.2
Octubre	84	270	390	744	52.4
Noviembre	75	266	403	744	54.2
Diciembre	80	235	429	744	57.7
Totales	856	3433	4639	8928	
Porcentaje	9.6	38.5	52.0		

Imagen A-007: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en Ixtepec, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
05/20 01:00:00	27.7	26.4	24.6	29.6
05/20 02:00:00	27.6	26.0	24.6	29.6
05/20 03:00:00	27.5	25.6	24.6	29.6
05/20 04:00:00	27.5	25.3	24.6	29.6
05/20 05:00:00	27.4	25.1	24.6	29.6
05/20 06:00:00	27.5	24.8	24.6	29.6
05/20 07:00:00	27.9	24.8	24.6	29.6
05/20 08:00:00	29.0	25.2	24.6	29.6
05/20 09:00:00	30.4	26.4	24.6	29.6
05/20 10:00:00	32.0	28.1	24.6	29.6
05/20 11:00:00	33.5	30.0	24.6	29.6
05/20 12:00:00	34.8	32.0	24.6	29.6
05/20 13:00:00	35.9	33.8	24.6	29.6
05/20 14:00:00	36.8	35.4	24.6	29.6
05/20 15:00:00	37.3	36.7	24.6	29.6
05/20 16:00:00	37.6	37.7	24.6	29.6
05/20 17:00:00	37.4	38.4	24.6	29.6
05/20 18:00:00	36.9	38.5	24.6	29.6
05/20 19:00:00	36.0	38.2	24.6	29.6
05/20 20:00:00	35.1	37.2	24.6	29.6
05/20 21:00:00	34.3	35.9	24.6	29.6
05/20 22:00:00	33.6	34.6	24.6	29.6
05/20 23:00:00	32.8	33.5	24.6	29.6
05/20 24:00:00	32.0	32.5	24.6	29.6

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

38.5° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

24.8° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

37.6° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

27.4° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

18:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx. T.int} - \text{min. T.int}}{\text{máx. T.amb} - \text{min. T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx. T.int} - hr \text{ máx. T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

1.34

Desfasamiento térmico (tTL)

2

Imagen A-008: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

Vivienda construida con ladrillo en Ixtepec, Oaxaca – Día más caliente del año

Día más caliente del año

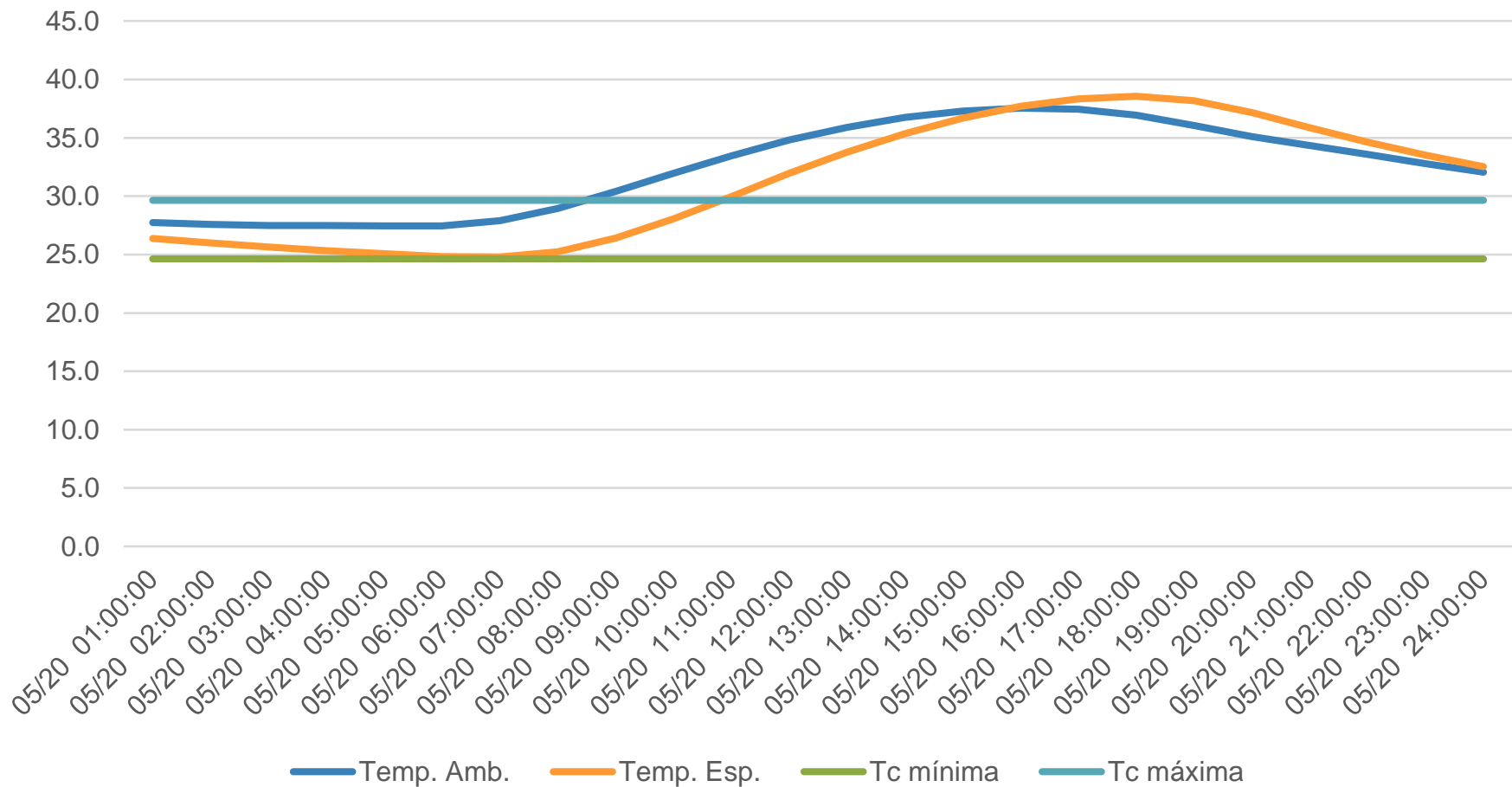


Imagen A-009: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en Ixtepec, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
12/26 01:00:00	21.2	24.7	23.2	28.2
12/26 02:00:00	20.6	23.9	23.2	28.2
12/26 03:00:00	20.0	23.2	23.2	28.2
12/26 04:00:00	19.5	22.5	23.2	28.2
12/26 05:00:00	19.1	21.9	23.2	28.2
12/26 06:00:00	18.8	21.3	23.2	28.2
12/26 07:00:00	18.7	20.7	23.2	28.2
12/26 08:00:00	19.3	20.8	23.2	28.2
12/26 09:00:00	21.0	21.7	23.2	28.2
12/26 10:00:00	23.2	23.2	23.2	28.2
12/26 11:00:00	25.6	25.0	23.2	28.2
12/26 12:00:00	27.6	26.8	23.2	28.2
12/26 13:00:00	29.1	28.8	23.2	28.2
12/26 14:00:00	30.2	30.4	23.2	28.2
12/26 15:00:00	30.7	31.8	23.2	28.2
12/26 16:00:00	30.6	32.7	23.2	28.2
12/26 17:00:00	29.9	33.0	23.2	28.2
12/26 18:00:00	28.6	32.3	23.2	28.2
12/26 19:00:00	27.4	31.3	23.2	28.2
12/26 20:00:00	26.6	30.1	23.2	28.2
12/26 21:00:00	25.8	28.9	23.2	28.2
12/26 22:00:00	25.0	27.9	23.2	28.2
12/26 23:00:00	24.2	26.9	23.2	28.2
12/26 24:00:00	23.4	26.0	23.2	28.2

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

33°C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

20.7°C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

30.7°C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

18.7°C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

15:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx. T.int} - \text{min. T.int}}{\text{máx. T.amb} - \text{min. T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx. T.int} - hr \text{ máx. T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

1.03

Desfasamiento térmico (tTL)

2

Imagen A-010: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

Vivienda construida con ladrillo en Ixtepec, Oaxaca – Día más frío del año

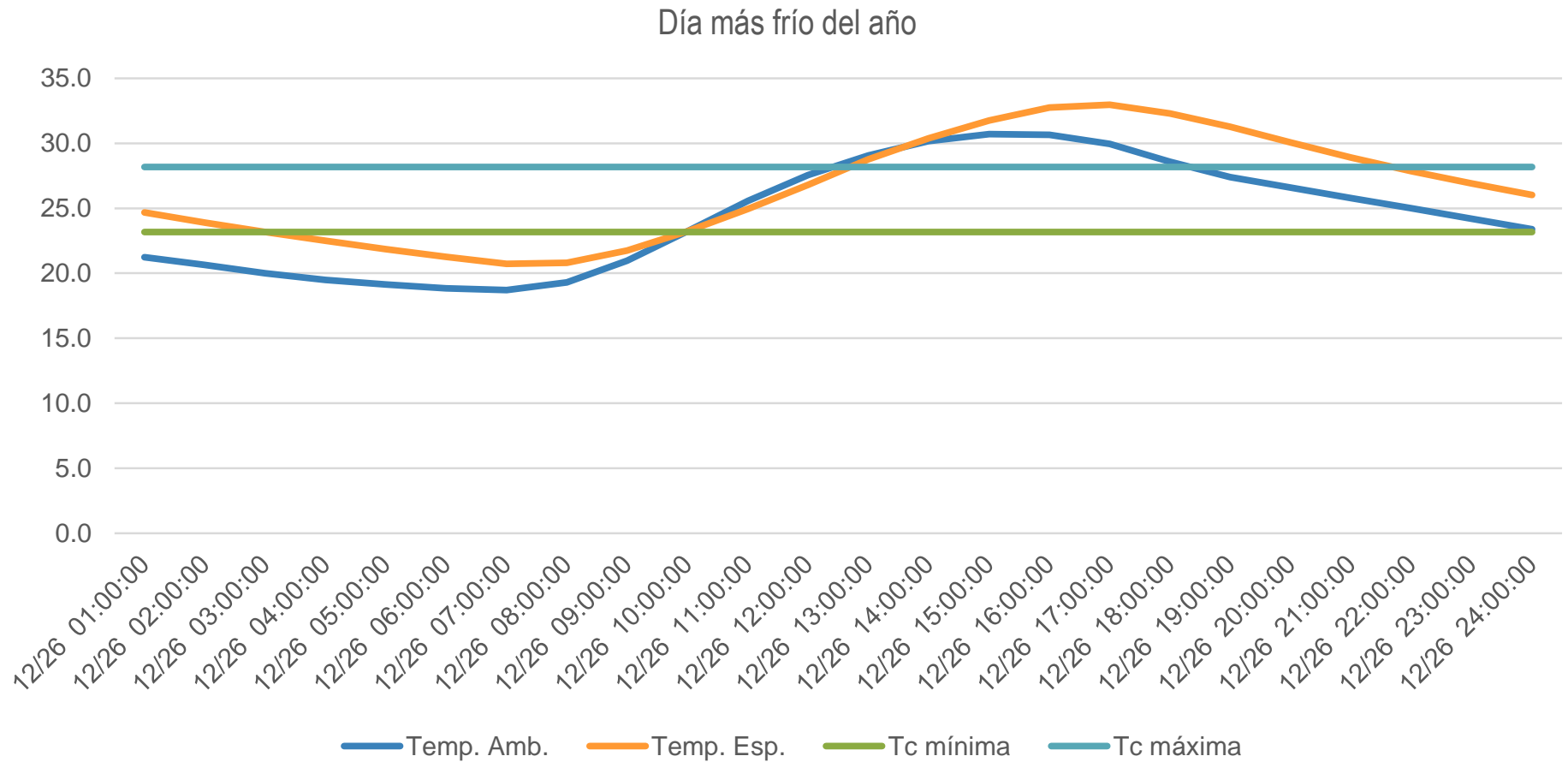


Imagen A-012: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con bahareque en Ixtepec, Oaxaca

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas comodidad	Total horas del mes	% de comodidad
Enero	214	13	517	744	69.5
Febrero	155	42	547	744	73.5
Marzo	180	61	503	744	67.6
Abril	194	50	500	744	67.2
Mayo	204	76	464	744	62.4
Junio	233	40	471	744	63.3
Julio	180	51	513	744	69.0
Agosto	220	42	482	744	64.8
Septiembre	233	17	494	744	66.4
Octubre	232	14	498	744	66.9
Noviembre	223	6	515	744	69.2
Diciembre	216	8	520	744	69.9
Totales	2484	420	6024	8928	
Porcentaje	27.8	4.7	67.5		

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con bahareque en Ixtepec, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
05/20 01:00:00	27.7	24.1	24.6	29.6
05/20 02:00:00	27.6	23.9	24.6	29.6
05/20 03:00:00	27.5	23.7	24.6	29.6
05/20 04:00:00	27.5	23.6	24.6	29.6
05/20 05:00:00	27.4	23.5	24.6	29.6
05/20 06:00:00	27.5	23.3	24.6	29.6
05/20 07:00:00	27.9	23.5	24.6	29.6
05/20 08:00:00	29.0	24.4	24.6	29.6
05/20 09:00:00	30.4	25.7	24.6	29.6
05/20 10:00:00	32.0	27.0	24.6	29.6
05/20 11:00:00	33.5	28.3	24.6	29.6
05/20 12:00:00	34.8	29.5	24.6	29.6
05/20 13:00:00	35.9	30.3	24.6	29.6
05/20 14:00:00	36.8	30.9	24.6	29.6
05/20 15:00:00	37.3	31.3	24.6	29.6
05/20 16:00:00	37.6	31.5	24.6	29.6
05/20 17:00:00	37.4	31.3	24.6	29.6
05/20 18:00:00	36.9	30.8	24.6	29.6
05/20 19:00:00	36.0	29.9	24.6	29.6
05/20 20:00:00	35.1	29.2	24.6	29.6
05/20 21:00:00	34.3	28.8	24.6	29.6
05/20 22:00:00	33.6	28.4	24.6	29.6
05/20 23:00:00	32.8	28.0	24.6	29.6
05/20 24:00:00	32.0	27.6	24.6	29.6

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

31.5° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

23.3°C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

37.6°C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

27.4°C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

16:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.amb} - \text{min.T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.80

Desfasamiento térmico (tTL)

0

Imagen A-014: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

Vivienda construida con bahareque en Ixtepec, Oaxaca – Día más caliente del año

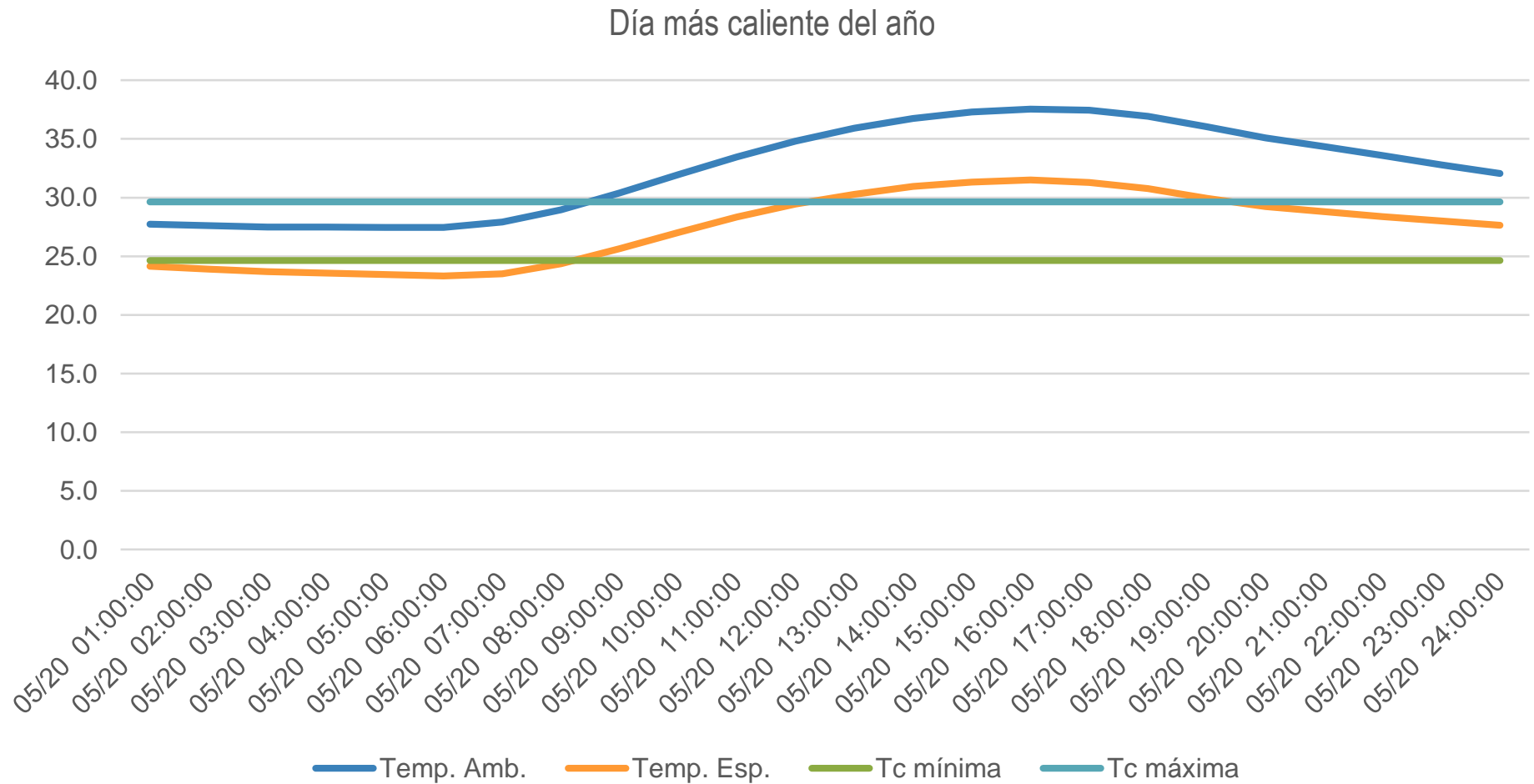


Imagen A-015: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con bahareque en Ixtepec, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
12/26 01:00:00	21.2	22.1	23.2	28.2
12/26 02:00:00	20.6	21.7	23.2	28.2
12/26 03:00:00	20.0	21.3	23.2	28.2
12/26 04:00:00	19.5	20.9	23.2	28.2
12/26 05:00:00	19.1	20.5	23.2	28.2
12/26 06:00:00	18.8	20.2	23.2	28.2
12/26 07:00:00	18.7	19.9	23.2	28.2
12/26 08:00:00	19.3	19.9	23.2	28.2
12/26 09:00:00	21.0	20.6	23.2	28.2
12/26 10:00:00	23.2	21.7	23.2	28.2
12/26 11:00:00	25.6	23.1	23.2	28.2
12/26 12:00:00	27.6	24.1	23.2	28.2
12/26 13:00:00	29.1	25.1	23.2	28.2
12/26 14:00:00	30.2	25.8	23.2	28.2
12/26 15:00:00	30.7	26.2	23.2	28.2
12/26 16:00:00	30.6	26.2	23.2	28.2
12/26 17:00:00	29.9	25.9	23.2	28.2
12/26 18:00:00	28.6	25.3	23.2	28.2
12/26 19:00:00	27.4	24.8	23.2	28.2
12/26 20:00:00	26.6	24.5	23.2	28.2
12/26 21:00:00	25.8	24.1	23.2	28.2
12/26 22:00:00	25.0	23.8	23.2	28.2
12/26 23:00:00	24.2	23.4	23.2	28.2
12/26 24:00:00	23.4	23.1	23.2	28.2

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

26.2° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

19.9° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

30.7° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

18.7° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

15:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

15:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.amb} - \text{min.T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.53

Desfasamiento térmico (tTL)

0

Imagen A-017: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

Vivienda construida con bahareque en Ixtepec, Oaxaca – Día más frío del año

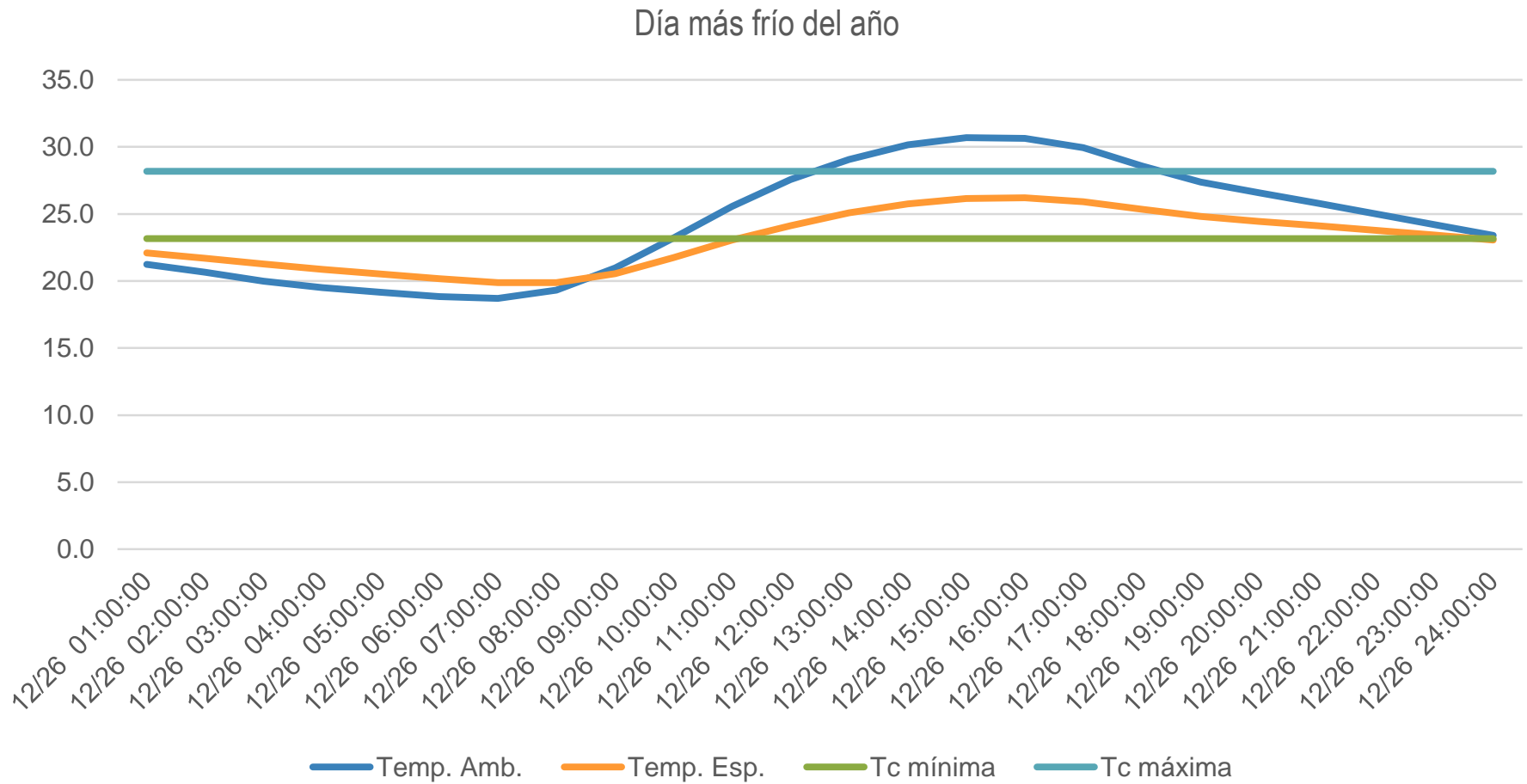


Imagen A-018: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

Intervalos de comodidad térmica para viviendas en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca.

Mes	Temperatura media mensual	Tc mínima	Tn	Tc máxima
Enero	13	19.3	21.8	24.3
Febrero	14.3	19.7	22.2	24.7
Marzo	15.6	20.1	22.6	25.1
Abril	17.3	20.7	23.2	25.7
Mayo	18.6	21.1	23.6	26.1
Junio	18.2	20.9	23.4	25.9
Julio	17.8	20.8	23.3	25.8
Agosto	18	20.9	23.4	25.9
Septiembre	17.1	20.6	23.1	25.6
Octubre	16.1	20.3	22.8	25.3
Noviembre	14.2	19.7	22.2	24.7
Diciembre	13.4	19.5	22.0	24.5

Imagen A-001: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas comodidad	Total horas del mes	% de comodidad
Enero	365	69	310	744	41.7
Febrero	293	104	347	744	46.6
Marzo	252	127	365	744	49.1
Abril	233	122	389	744	52.3
Mayo	282	103	359	744	48.3
Junio	354	46	344	744	46.2
Julio	333	86	325	744	43.7
Agosto	369	44	331	744	44.5
Septiembre	381	57	306	744	41.1
Octubre	315	51	378	744	50.8
Noviembre	340	87	317	744	42.6
Diciembre	377	61	306	744	41.1
Totales	3894	957	4077	8928	
Porcentaje	43.6	10.7	45.7		

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
04/10 01:00:00	18.7	21.0	20.7	25.7
04/10 02:00:00	18.0	20.6	20.7	25.7
04/10 03:00:00	17.2	20.2	20.7	25.7
04/10 04:00:00	16.6	19.8	20.7	25.7
04/10 05:00:00	16.3	19.4	20.7	25.7
04/10 06:00:00	15.9	19.0	20.7	25.7
04/10 07:00:00	15.9	18.6	20.7	25.7
04/10 08:00:00	17.4	18.5	20.7	25.7
04/10 09:00:00	20.2	19.0	20.7	25.7
04/10 10:00:00	22.9	20.5	20.7	25.7
04/10 11:00:00	25.4	21.9	20.7	25.7
04/10 12:00:00	27.6	23.3	20.7	25.7
04/10 13:00:00	29.4	24.9	20.7	25.7
04/10 14:00:00	30.7	26.3	20.7	25.7
04/10 15:00:00	31.5	27.5	20.7	25.7
04/10 16:00:00	31.8	28.3	20.7	25.7
04/10 17:00:00	31.5	28.9	20.7	25.7
04/10 18:00:00	30.5	28.9	20.7	25.7
04/10 19:00:00	28.8	28.4	20.7	25.7
04/10 20:00:00	27.3	27.7	20.7	25.7
04/10 21:00:00	26.4	27.0	20.7	25.7
04/10 22:00:00	25.4	26.3	20.7	25.7
04/10 23:00:00	24.5	25.7	20.7	25.7
04/10 24:00:00	23.5	25.1	20.7	25.7

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

28.9° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

18.5° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

31.8° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

15.9° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.amb} - \text{min.T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.65

Desfasamiento térmico (tTL)

1

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

Vivienda construida con block de concreto en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más caliente del año

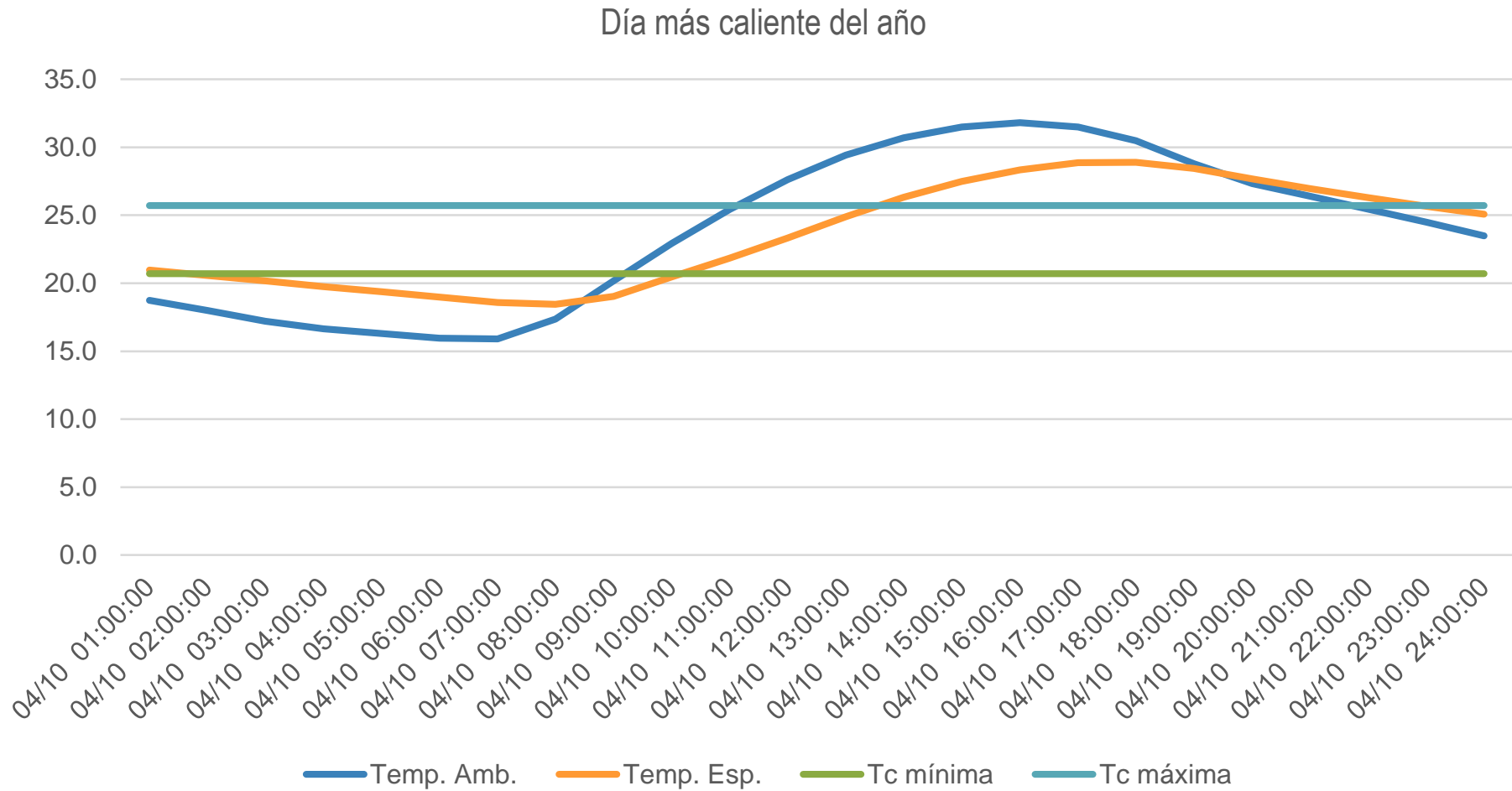


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
01/13 01:00:00	7.7	15.5	19.3	24.3
01/13 02:00:00	7.0	14.9	19.3	24.3
01/13 03:00:00	6.4	14.4	19.3	24.3
01/13 04:00:00	5.9	13.9	19.3	24.3
01/13 05:00:00	5.5	13.4	19.3	24.3
01/13 06:00:00	5.3	12.9	19.3	24.3
01/13 07:00:00	5.0	12.5	19.3	24.3
01/13 08:00:00	5.3	12.2	19.3	24.3
01/13 09:00:00	7.4	12.5	19.3	24.3
01/13 10:00:00	10.7	13.6	19.3	24.3
01/13 11:00:00	13.7	14.8	19.3	24.3
01/13 12:00:00	16.2	16.2	19.3	24.3
01/13 13:00:00	18.1	17.8	19.3	24.3
01/13 14:00:00	19.5	19.3	19.3	24.3
01/13 15:00:00	20.2	20.4	19.3	24.3
01/13 16:00:00	20.3	21.3	19.3	24.3
01/13 17:00:00	19.6	21.8	19.3	24.3
01/13 18:00:00	18.1	21.7	19.3	24.3
01/13 19:00:00	16.2	21.1	19.3	24.3
01/13 20:00:00	14.8	20.5	19.3	24.3
01/13 21:00:00	13.8	19.8	19.3	24.3
01/13 22:00:00	12.8	19.1	19.3	24.3
01/13 23:00:00	11.8	18.4	19.3	24.3
01/13 24:00:00	10.8	17.6	19.3	24.3

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

21.8° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

12.5° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

20.3° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

5° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.amb} - \text{min.T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.61

Desfasamiento térmico (tTL)

1

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

Vivienda construida con block de concreto en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más frío del año

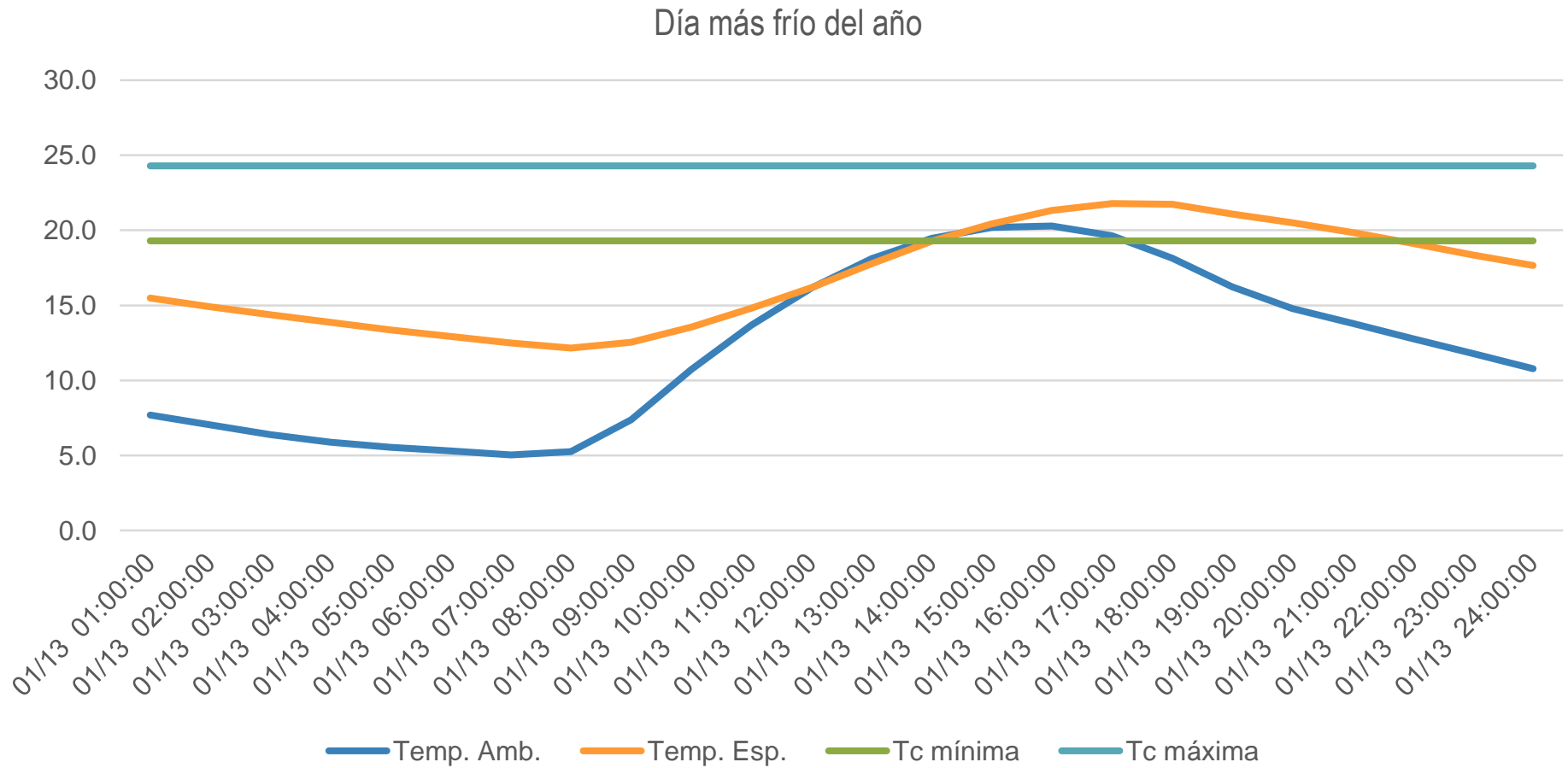


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas de comodidad	Total horas del mes	% de comodidad
Enero	398	139	207	744	27.8
Febrero	324	138	282	744	37.9
Marzo	302	182	260	744	34.9
Abril	288	188	268	744	36.0
Mayo	329	158	257	744	34.5
Junio	371	111	262	744	35.2
Julio	354	138	252	744	33.9
Agosto	385	110	249	744	33.5
Septiembre	399	91	254	744	34.1
Octubre	360	111	273	744	36.7
Noviembre	371	131	242	744	32.5
Diciembre	400	120	224	744	30.1
Totales	4281	1617	3030	8928	
Porcentajes	48.0	18.1	33.9		

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
04/10 01:00:00	18.7	20.3	20.7	25.7
04/10 02:00:00	18.0	19.8	20.7	25.7
04/10 03:00:00	17.2	19.3	20.7	25.7
04/10 04:00:00	16.6	18.8	20.7	25.7
04/10 05:00:00	16.3	18.3	20.7	25.7
04/10 06:00:00	15.9	17.8	20.7	25.7
04/10 07:00:00	15.9	17.4	20.7	25.7
04/10 08:00:00	17.4	17.2	20.7	25.7
04/10 09:00:00	20.2	18.1	20.7	25.7
04/10 10:00:00	22.9	19.8	20.7	25.7
04/10 11:00:00	25.4	21.8	20.7	25.7
04/10 12:00:00	27.6	23.8	20.7	25.7
04/10 13:00:00	29.4	25.9	20.7	25.7
04/10 14:00:00	30.7	27.8	20.7	25.7
04/10 15:00:00	31.5	29.3	20.7	25.7
04/10 16:00:00	31.8	30.4	20.7	25.7
04/10 17:00:00	31.5	31.0	20.7	25.7
04/10 18:00:00	30.5	31.1	20.7	25.7
04/10 19:00:00	28.8	30.6	20.7	25.7
04/10 20:00:00	27.3	29.6	20.7	25.7
04/10 21:00:00	26.4	28.3	20.7	25.7
04/10 22:00:00	25.4	27.2	20.7	25.7
04/10 23:00:00	24.5	26.1	20.7	25.7
04/10 24:00:00	23.5	25.2	20.7	25.7

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

31.1° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

17.2° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

31.8° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

15.9° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

18:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx. T.int} - \text{min. T.int}}{\text{máx. T.amb} - \text{min. T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx. T.int} - hr \text{ máx. T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.87

Desfasamiento térmico (tTL)

2

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

Vivienda construida con ladrillo en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más caliente del año

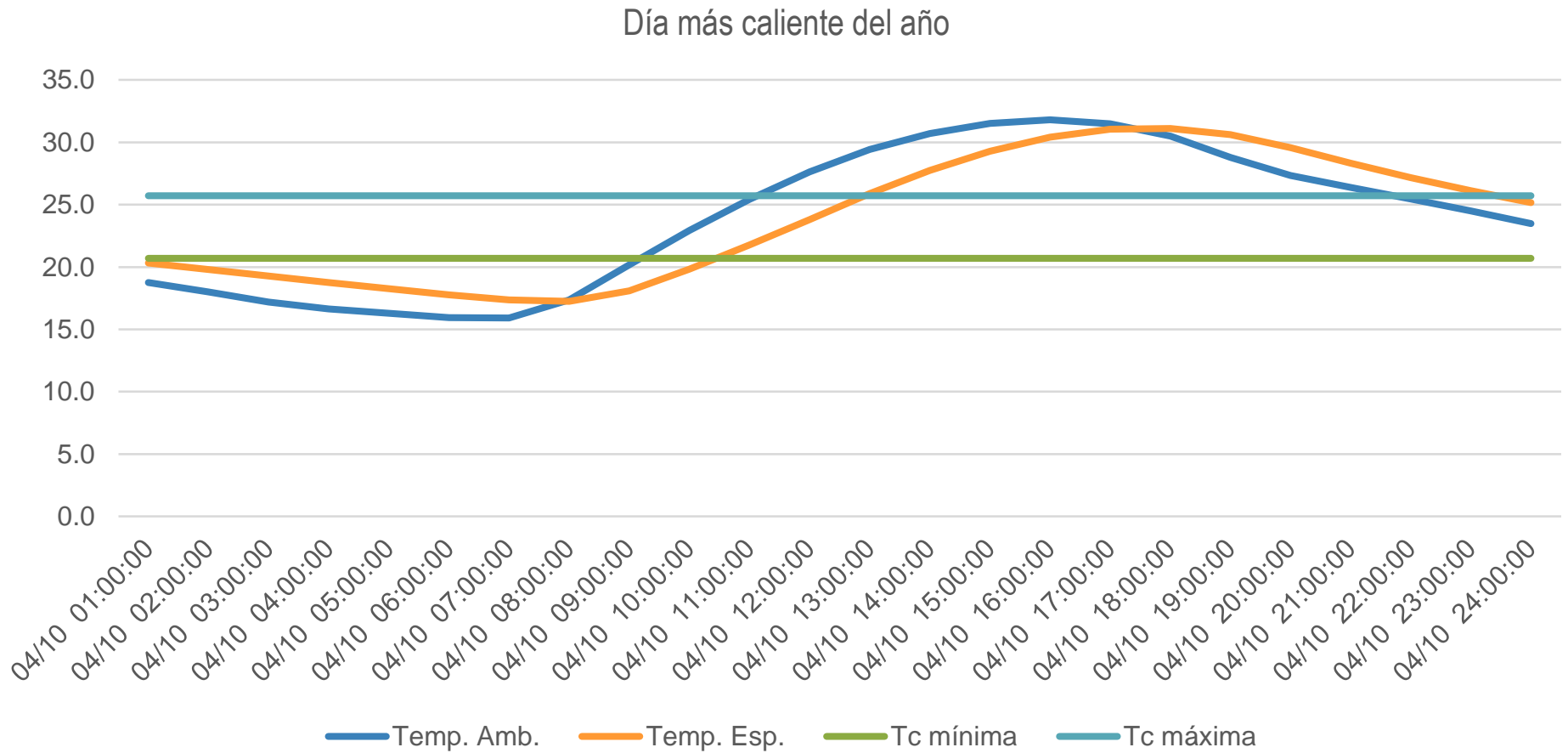


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
01/13 01:00:00	7.7	14.8	19.3	24.3
01/13 02:00:00	7.0	14.1	19.3	24.3
01/13 03:00:00	6.4	13.4	19.3	24.3
01/13 04:00:00	5.9	12.8	19.3	24.3
01/13 05:00:00	5.5	12.2	19.3	24.3
01/13 06:00:00	5.3	11.7	19.3	24.3
01/13 07:00:00	5.0	11.2	19.3	24.3
01/13 08:00:00	5.3	10.8	19.3	24.3
01/13 09:00:00	7.4	11.2	19.3	24.3
01/13 10:00:00	10.7	12.4	19.3	24.3
01/13 11:00:00	13.7	14.0	19.3	24.3
01/13 12:00:00	16.2	16.0	19.3	24.3
01/13 13:00:00	18.1	18.3	19.3	24.3
01/13 14:00:00	19.5	20.5	19.3	24.3
01/13 15:00:00	20.2	22.4	19.3	24.3
01/13 16:00:00	20.3	23.8	19.3	24.3
01/13 17:00:00	19.6	24.6	19.3	24.3
01/13 18:00:00	18.1	24.6	19.3	24.3
01/13 19:00:00	16.2	23.8	19.3	24.3
01/13 20:00:00	14.8	22.5	19.3	24.3
01/13 21:00:00	13.8	21.1	19.3	24.3
01/13 22:00:00	12.8	19.7	19.3	24.3
01/13 23:00:00	11.8	18.4	19.3	24.3
01/13 24:00:00	10.8	17.3	19.3	24.3

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

24.6° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

10.8° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

20.3° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

5° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx. T.int} - \text{min. T.int}}{\text{máx. T.amb} - \text{min. T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx. T.int} - hr \text{ máx. T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.90

Desfasamiento térmico (tTL)

1

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana"

Vivienda construida con ladrillo en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más frío del año

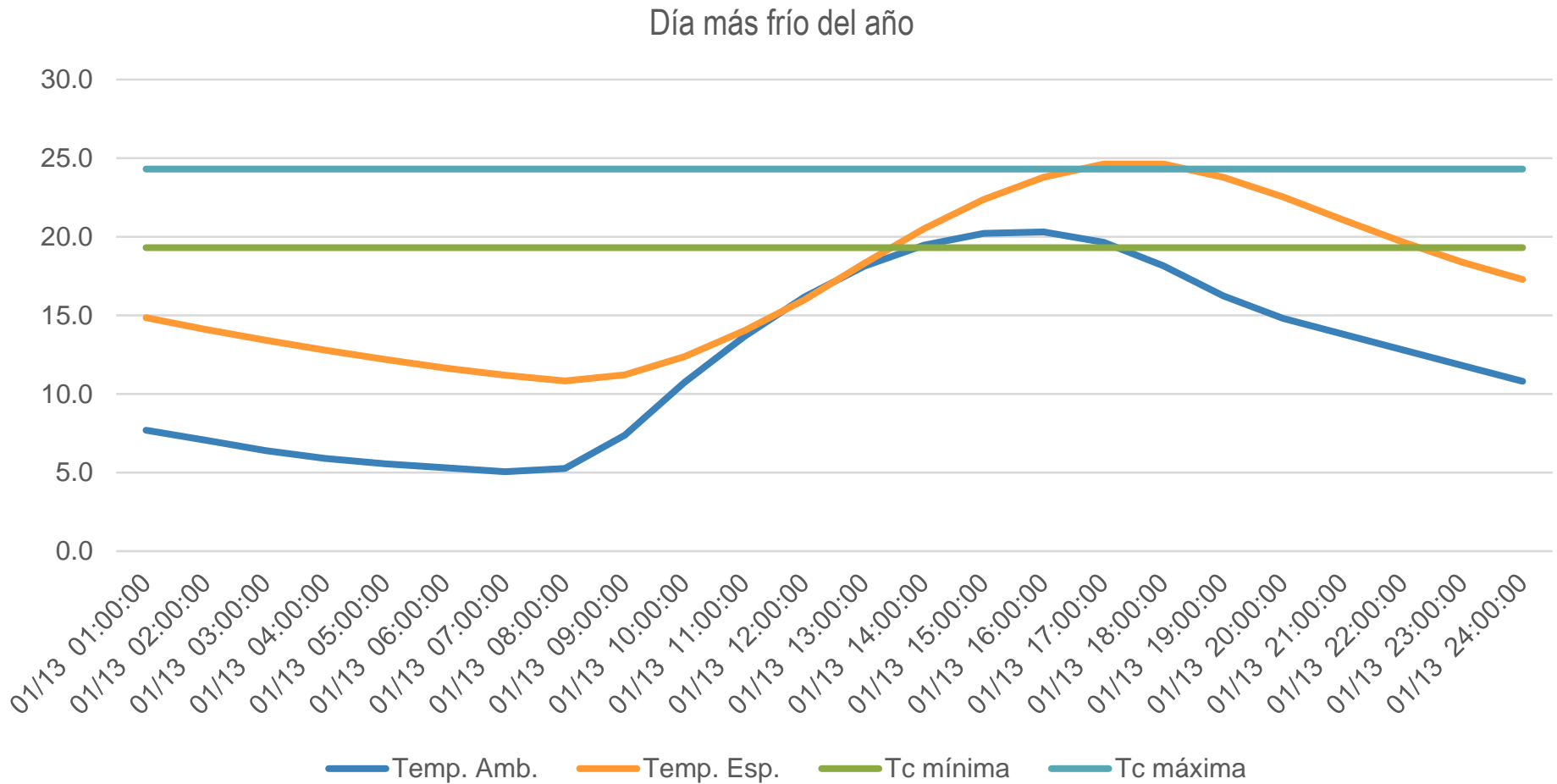


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con adobe en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas de comodidad	Total horas del mes	% de comodidad
Enero	490	0	254	744	34.1
Febrero	401	3	340	744	45.7
Marzo	360	14	370	744	49.7
Abril	343	5	396	744	53.2
Mayo	407	9	328	744	44.1
Junio	456	0	288	744	38.7
Julio	474	0	270	744	36.3
Agosto	511	0	233	744	31.3
Septiembre	509	0	235	744	31.6
Octubre	461	0	283	744	38.0
Noviembre	457	0	287	744	38.6
Diciembre	507	0	237	744	31.9
Totales	5376	31	3521	8928	
Porcentajes	60.2	0.3	39.4		

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con adobe en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
04/10 01:00:00	18.7	20.4	20.7	25.7
04/10 02:00:00	18.0	20.2	20.7	25.7
04/10 03:00:00	17.2	19.9	20.7	25.7
04/10 04:00:00	16.6	19.7	20.7	25.7
04/10 05:00:00	16.3	19.5	20.7	25.7
04/10 06:00:00	15.9	19.2	20.7	25.7
04/10 07:00:00	15.9	19.0	20.7	25.7
04/10 08:00:00	17.4	19.1	20.7	25.7
04/10 09:00:00	20.2	19.9	20.7	25.7
04/10 10:00:00	22.9	21.3	20.7	25.7
04/10 11:00:00	25.4	22.8	20.7	25.7
04/10 12:00:00	27.6	23.9	20.7	25.7
04/10 13:00:00	29.4	24.6	20.7	25.7
04/10 14:00:00	30.7	25.1	20.7	25.7
04/10 15:00:00	31.5	25.2	20.7	25.7
04/10 16:00:00	31.8	25.2	20.7	25.7
04/10 17:00:00	31.5	25.1	20.7	25.7
04/10 18:00:00	30.5	24.6	20.7	25.7
04/10 19:00:00	28.8	23.7	20.7	25.7
04/10 20:00:00	27.3	23.0	20.7	25.7
04/10 21:00:00	26.4	22.6	20.7	25.7
04/10 22:00:00	25.4	22.2	20.7	25.7
04/10 23:00:00	24.5	22.0	20.7	25.7
04/10 24:00:00	23.5	21.8	20.7	25.7

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

25.2° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

19° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)

31.8° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)

15.9° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

15:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx. T.int} - \text{min. T.int}}{\text{máx. T.amb} - \text{min. T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx. T.int} - hr \text{ máx. T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.39

Desfasamiento térmico (tTL)

-1

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con adobe en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más caliente del año

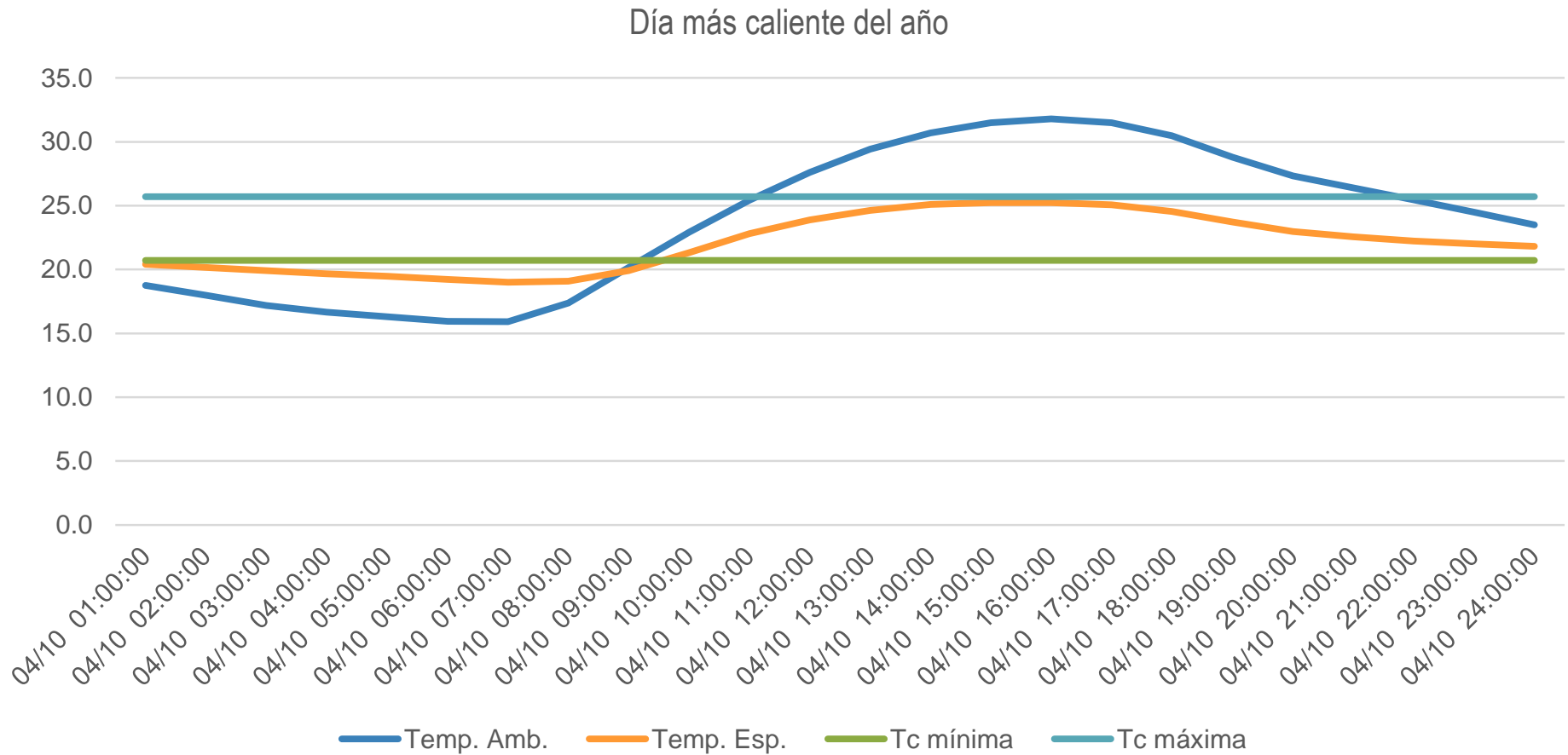


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con adobe en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp. Amb.	Temp. Esp.	Tc mínima	Tc máxima
01/13 01:00:00	7.7	14.7	19.3	24.3
01/13 02:00:00	7.0	14.5	19.3	24.3
01/13 03:00:00	6.4	14.4	19.3	24.3
01/13 04:00:00	5.9	14.2	19.3	24.3
01/13 05:00:00	5.5	14.2	19.3	24.3
01/13 06:00:00	5.3	14.1	19.3	24.3
01/13 07:00:00	5.0	13.9	19.3	24.3
01/13 08:00:00	5.3	13.9	19.3	24.3
01/13 09:00:00	7.4	14.2	19.3	24.3
01/13 10:00:00	10.7	15.2	19.3	24.3
01/13 11:00:00	13.7	16.5	19.3	24.3
01/13 12:00:00	16.2	17.6	19.3	24.3
01/13 13:00:00	18.1	18.5	19.3	24.3
01/13 14:00:00	19.5	19.2	19.3	24.3
01/13 15:00:00	20.2	19.6	19.3	24.3
01/13 16:00:00	20.3	19.6	19.3	24.3
01/13 17:00:00	19.6	19.3	19.3	24.3
01/13 18:00:00	18.1	18.6	19.3	24.3
01/13 19:00:00	16.2	17.6	19.3	24.3
01/13 20:00:00	14.8	16.9	19.3	24.3
01/13 21:00:00	13.8	16.5	19.3	24.3
01/13 22:00:00	12.8	16.2	19.3	24.3
01/13 23:00:00	11.8	16.0	19.3	24.3
01/13 24:00:00	10.8	15.8	19.3	24.3

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)
19.6° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)
13.9° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. amb.)
20.3° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. amb.)
5° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.
17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. amb.
16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx. T.int} - \text{min. T.int}}{\text{máx. T.amb} - \text{min. T.amb}}$$

$$tTL = hr \text{ máx. T.int} - hr \text{ máx. T.amb}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)
0.37

Desfasamiento térmico (tTL)
1

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana.

Vivienda construida con adobe en Santo Domingo Yanhuitlán, Oaxaca – Día más frío del año

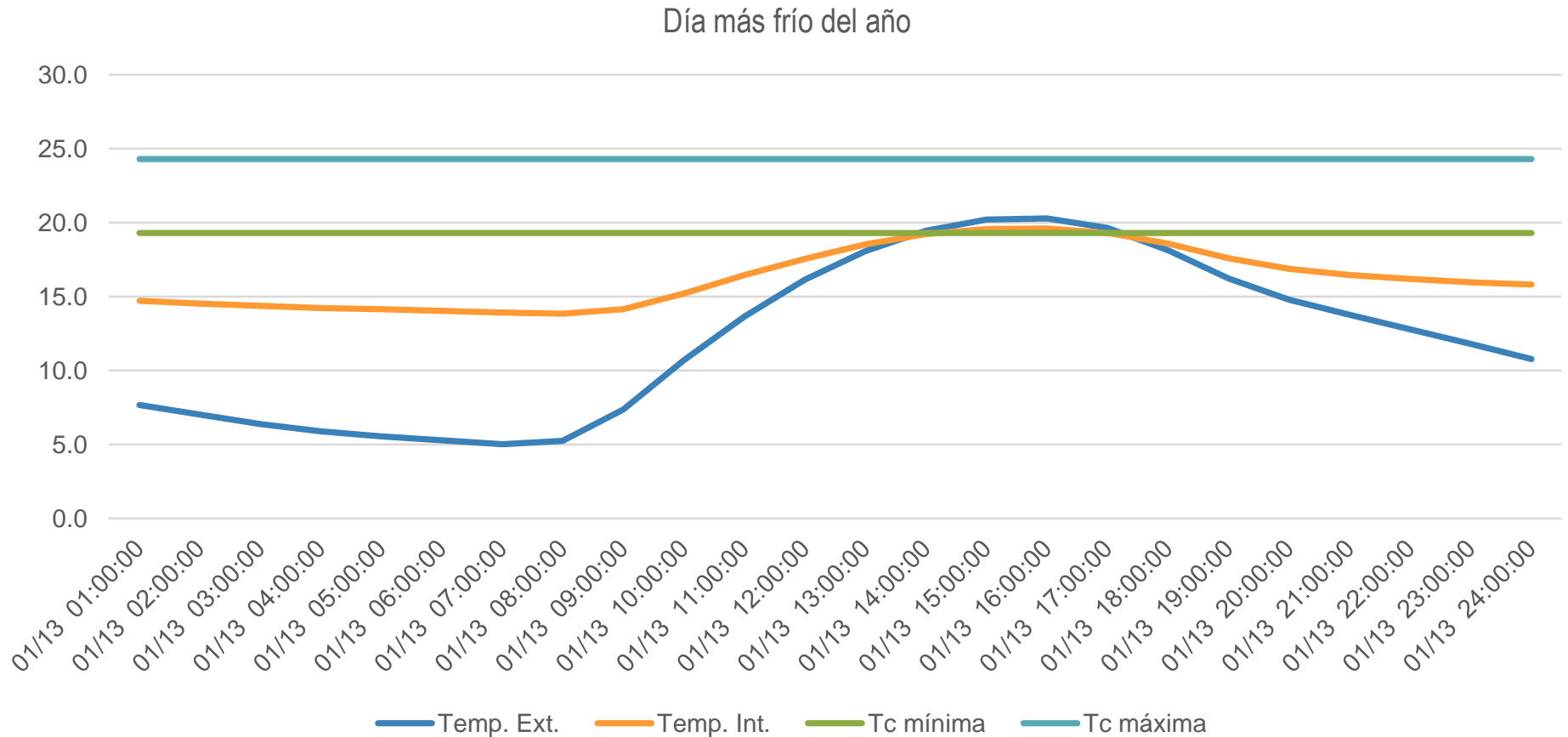


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana.

Intervalos de comodidad térmica para viviendas en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca.

Mes	Temperatura media mensual	Tc mínima	Tn	Tc máxima
Enero	18.5	21.0	23.5	26.0
Febrero	19.1	21.2	23.7	26.2
Marzo	20.8	21.7	24.2	26.7
Abril	22.5	22.3	24.8	27.3
Mayo	22.8	22.4	24.9	27.4
Junio	21.4	21.9	24.4	26.9
Julio	20.9	21.8	24.3	26.8
Agosto	21	21.8	24.3	26.8
Septiembre	20.8	21.7	24.2	26.7
Octubre	20.4	21.6	24.1	26.6
Noviembre	20	21.5	24.0	26.5
Diciembre	18.6	21.1	23.6	26.1

Imagen A-001: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas de comodidad	Total horas del mes	% de comodidad
Enero	301	109	334	744	44.9
Febrero	186	163	395	744	53.1
Marzo	163	208	373	744	50.1
Abril	141	198	405	744	54.4
Mayo	171	168	405	744	54.4
Junio	247	114	383	744	51.5
Julio	203	114	427	744	57.4
Agosto	226	76	442	744	59.4
Septiembre	245	92	407	744	54.7
Octubre	212	130	402	744	54.0
Noviembre	271	117	356	744	47.8
Diciembre	284	110	350	744	47.0
Totales	2650	1599	4679	8928	
Porcentajes	29.7	17.9	52.4		

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Ext.	Temp. Int.	Tc mínima	Tc máxima
04/07 01:00:00	21.4	26.9	22.3	27.3
04/07 02:00:00	20.6	26.2	22.3	27.3
04/07 03:00:00	19.8	25.5	22.3	27.3
04/07 04:00:00	19.2	24.8	22.3	27.3
04/07 05:00:00	18.8	24.1	22.3	27.3
04/07 06:00:00	18.4	23.5	22.3	27.3
04/07 07:00:00	18.4	22.9	22.3	27.3
04/07 08:00:00	19.9	22.6	22.3	27.3
04/07 09:00:00	22.8	22.9	22.3	27.3
04/07 10:00:00	25.7	23.9	22.3	27.3
04/07 11:00:00	28.4	25.1	22.3	27.3
04/07 12:00:00	30.7	26.5	22.3	27.3
04/07 13:00:00	32.6	28.0	22.3	27.3
04/07 14:00:00	34.0	29.3	22.3	27.3
04/07 15:00:00	34.9	30.5	22.3	27.3
04/07 16:00:00	35.2	31.2	22.3	27.3
04/07 17:00:00	34.8	31.6	22.3	27.3
04/07 18:00:00	33.7	31.6	22.3	27.3
04/07 19:00:00	32.0	31.1	22.3	27.3
04/07 20:00:00	30.4	30.6	22.3	27.3
04/07 21:00:00	29.1	29.9	22.3	27.3
04/07 22:00:00	27.9	29.3	22.3	27.3
04/07 23:00:00	26.6	28.6	22.3	27.3
04/07 24:00:00	25.4	28.0	22.3	27.3

Temperatura máxima interior (máx.T.int.)

31.6° C

Temperatura mínima interior (min.T.int.)

22.6° C

Temperatura máxima del ambiente (máx.T.ext.)

35.2° C

Temperatura mínima del ambiente (min.T.ext.)

18.4° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. ext.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.ext} - \text{min.T.ext}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T. ext}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.53

Desfasamiento térmico (tTL)

1

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

Vivienda construida con block de concreto en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más caliente del año

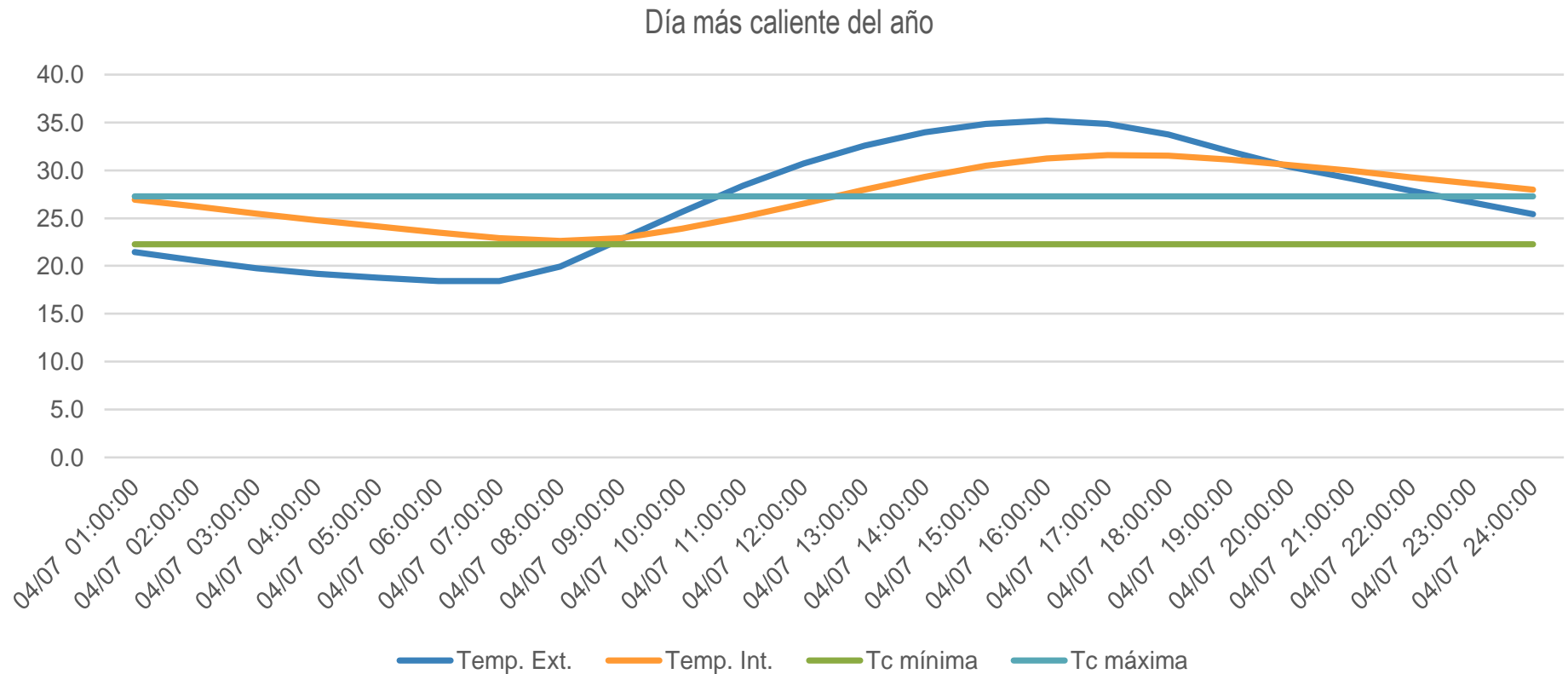


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con block de concreto en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp. Ext.	Temp. Int.	Tc mínima	Tc máxima
01/13 01:00:00	10.8	19.6	21.0	26.0
01/13 02:00:00	10.0	18.8	21.0	26.0
01/13 03:00:00	9.2	18.0	21.0	26.0
01/13 04:00:00	8.6	17.3	21.0	26.0
01/13 05:00:00	8.2	16.6	21.0	26.0
01/13 06:00:00	7.8	16.0	21.0	26.0
01/13 07:00:00	7.5	15.4	21.0	26.0
01/13 08:00:00	7.8	14.9	21.0	26.0
01/13 09:00:00	10.3	15.1	21.0	26.0
01/13 10:00:00	14.1	16.0	21.0	26.0
01/13 11:00:00	17.5	17.4	21.0	26.0
01/13 12:00:00	20.3	19.1	21.0	26.0
01/13 13:00:00	22.6	20.5	21.0	26.0
01/13 14:00:00	24.1	21.9	21.0	26.0
01/13 15:00:00	25.0	23.1	21.0	26.0
01/13 16:00:00	25.1	24.1	21.0	26.0
01/13 17:00:00	24.3	24.7	21.0	26.0
01/13 18:00:00	22.5	24.8	21.0	26.0
01/13 19:00:00	20.2	24.2	21.0	26.0
01/13 20:00:00	18.6	23.8	21.0	26.0
01/13 21:00:00	17.7	23.3	21.0	26.0
01/13 22:00:00	16.7	22.7	21.0	26.0
01/13 23:00:00	15.8	22.0	21.0	26.0
01/13 24:00:00	14.9	21.2	21.0	26.0

Temperatura máxima interior (máx. T. int.)

24.8° C

Temperatura mínima interior (min. T. int.)

14.9° C

Temperatura máxima del ambiente (máx. T. ext.)

25.1° C

Temperatura mínima del ambiente (min. T. ext.)

7.5° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

18:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. ext.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.ext} - \text{min.T.ext}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T.ext}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.56

Desfasamiento térmico (tTL)

2

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

Vivienda construida con block de concreto en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más frío del año

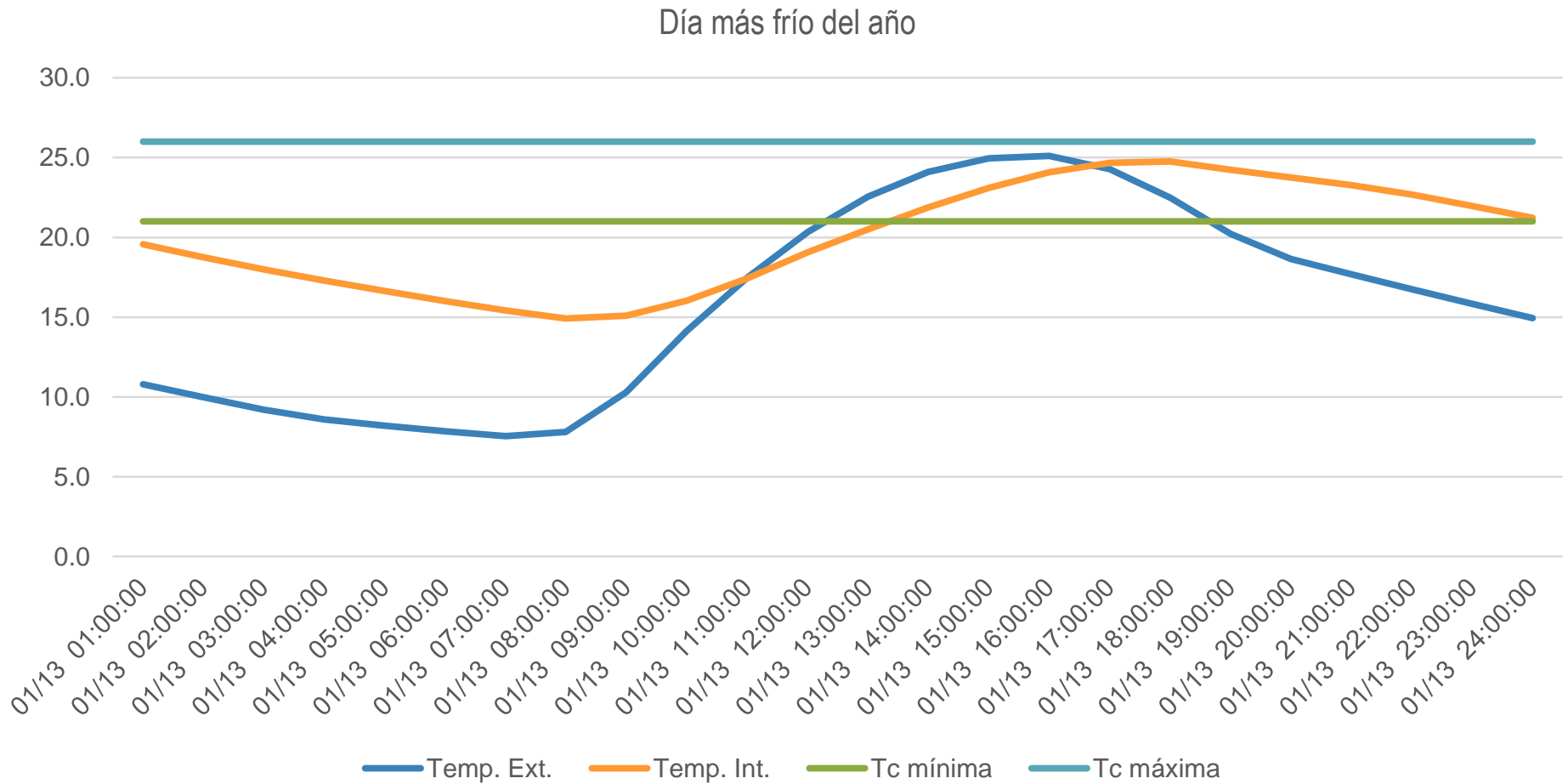


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas de comodidad	Total horas del mes	% de comodidad
Enero	348	175	221	744	29.7
Febrero	253	221	270	744	36.3
Marzo	245	256	243	744	32.7
Abril	227	238	279	744	37.5
Mayo	247	221	276	744	37.1
Junio	301	165	278	744	37.4
Julio	274	180	290	744	39.0
Agosto	293	157	294	744	39.5
Septiembre	315	148	281	744	37.8
Octubre	295	180	269	744	36.2
Noviembre	326	173	245	744	32.9
Diciembre	332	181	231	744	31.0
Totales	3456	2295	3177	8928	
Porcentajes	38.7	25.7	35.6		

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 "Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana".

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Ext.	Temp. Int.	Tc mínima	Tc máxima
04/07 01:00:00	21.4	26.0	22.3	27.3
04/07 02:00:00	20.6	24.9	22.3	27.3
04/07 03:00:00	19.8	23.9	22.3	27.3
04/07 04:00:00	19.2	23.0	22.3	27.3
04/07 05:00:00	18.8	22.1	22.3	27.3
04/07 06:00:00	18.4	21.3	22.3	27.3
04/07 07:00:00	18.4	20.6	22.3	27.3
04/07 08:00:00	19.9	20.3	22.3	27.3
04/07 09:00:00	22.8	21.0	22.3	27.3
04/07 10:00:00	25.7	22.6	22.3	27.3
04/07 11:00:00	28.4	24.5	22.3	27.3
04/07 12:00:00	30.7	26.6	22.3	27.3
04/07 13:00:00	32.6	28.6	22.3	27.3
04/07 14:00:00	34.0	30.5	22.3	27.3
04/07 15:00:00	34.9	32.0	22.3	27.3
04/07 16:00:00	35.2	33.1	22.3	27.3
04/07 17:00:00	34.8	33.7	22.3	27.3
04/07 18:00:00	33.7	33.8	22.3	27.3
04/07 19:00:00	32.0	33.3	22.3	27.3
04/07 20:00:00	30.4	32.3	22.3	27.3
04/07 21:00:00	29.1	31.0	22.3	27.3
04/07 22:00:00	27.9	29.8	22.3	27.3
04/07 23:00:00	26.6	28.6	22.3	27.3
04/07 24:00:00	25.4	27.5	22.3	27.3

Temperatura máxima interior (máx.T.int.)

33.8° C

Temperatura mínima interior (min.T.int.)

20.3° C

Temperatura máxima del ambiente (máx.T.ext.)

35.2° C

Temperatura mínima del ambiente (min.T.ext.)

18.4° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

18:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. ext.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.ext} - \text{min.T.ext}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T. ext}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.80

Desfasamiento térmico (tTL)

2

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

Vivienda construida con ladrillo en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más caliente del año

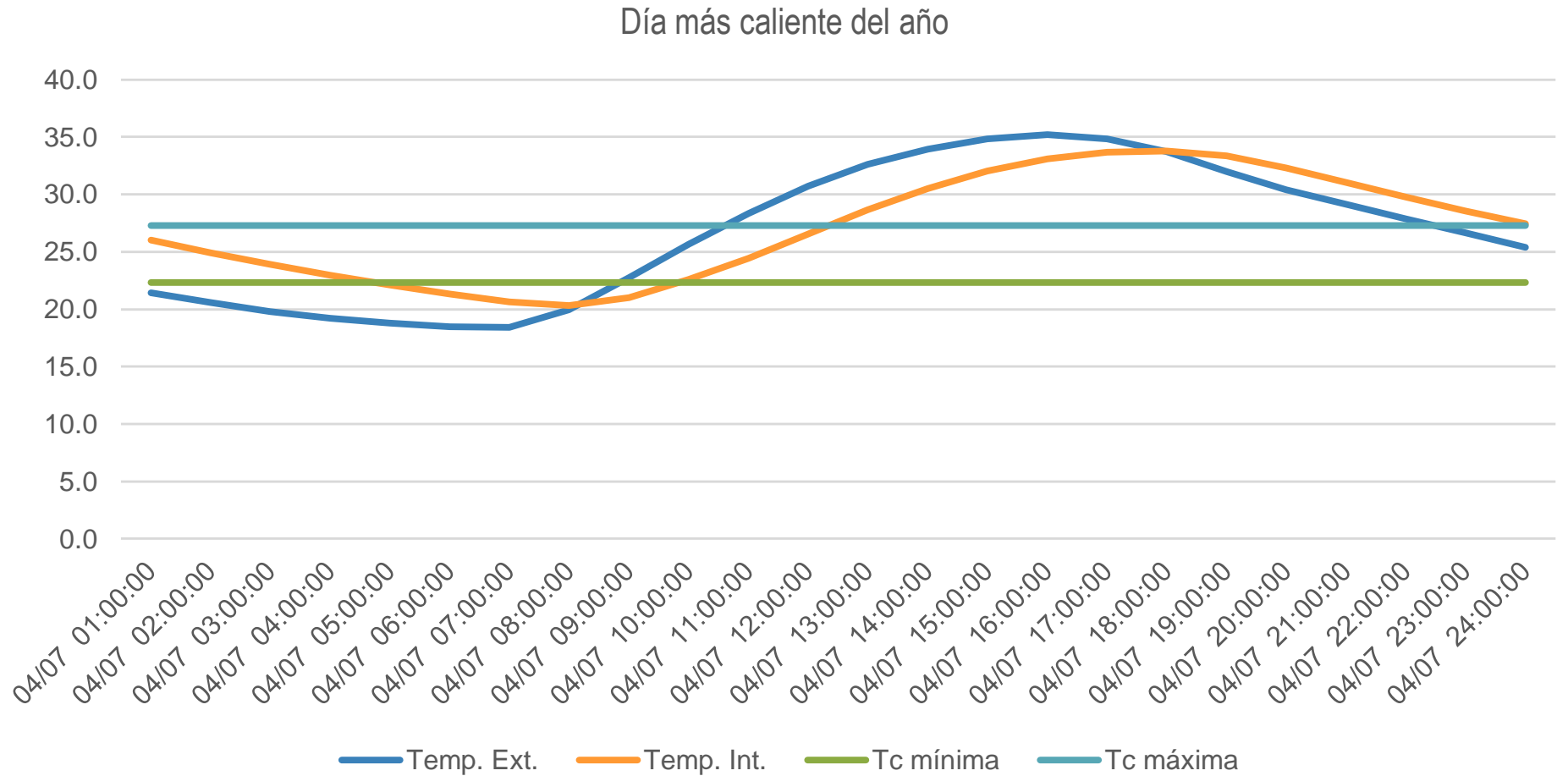


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con ladrillo en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp. Ext.	Temp. Int.	Tc mínima	Tc máxima
01/13 01:00:00	10.8	18.2	21.0	26.0
01/13 02:00:00	10.0	17.2	21.0	26.0
01/13 03:00:00	9.2	16.2	21.0	26.0
01/13 04:00:00	8.6	15.3	21.0	26.0
01/13 05:00:00	8.2	14.5	21.0	26.0
01/13 06:00:00	7.8	13.8	21.0	26.0
01/13 07:00:00	7.5	13.1	21.0	26.0
01/13 08:00:00	7.8	12.6	21.0	26.0
01/13 09:00:00	10.3	12.9	21.0	26.0
01/13 10:00:00	14.1	14.2	21.0	26.0
01/13 11:00:00	17.5	16.0	21.0	26.0
01/13 12:00:00	20.3	18.5	21.0	26.0
01/13 13:00:00	22.6	20.8	21.0	26.0
01/13 14:00:00	24.1	23.1	21.0	26.0
01/13 15:00:00	25.0	25.1	21.0	26.0
01/13 16:00:00	25.1	26.7	21.0	26.0
01/13 17:00:00	24.3	27.8	21.0	26.0
01/13 18:00:00	22.5	28.0	21.0	26.0
01/13 19:00:00	20.2	27.4	21.0	26.0
01/13 20:00:00	18.6	26.3	21.0	26.0
01/13 21:00:00	17.7	24.8	21.0	26.0
01/13 22:00:00	16.7	23.3	21.0	26.0
01/13 23:00:00	15.8	22.0	21.0	26.0
01/13 24:00:00	14.9	20.7	21.0	26.0

Temperatura máxima interior (máx.T.int.)
28° C

Temperatura mínima interior (min.T.int.)
12.6°C

Temperatura máxima del ambiente (máx.T.ext.)
25.1°C

Temperatura mínima del ambiente (min.T.ext.)
7.5°C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.
18:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. ext.
16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.ext} - \text{min.T.ext}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T. ext}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)
0.87

Desfasamiento térmico (tTL)
2

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

Vivienda construida con ladrillo en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más frío del año

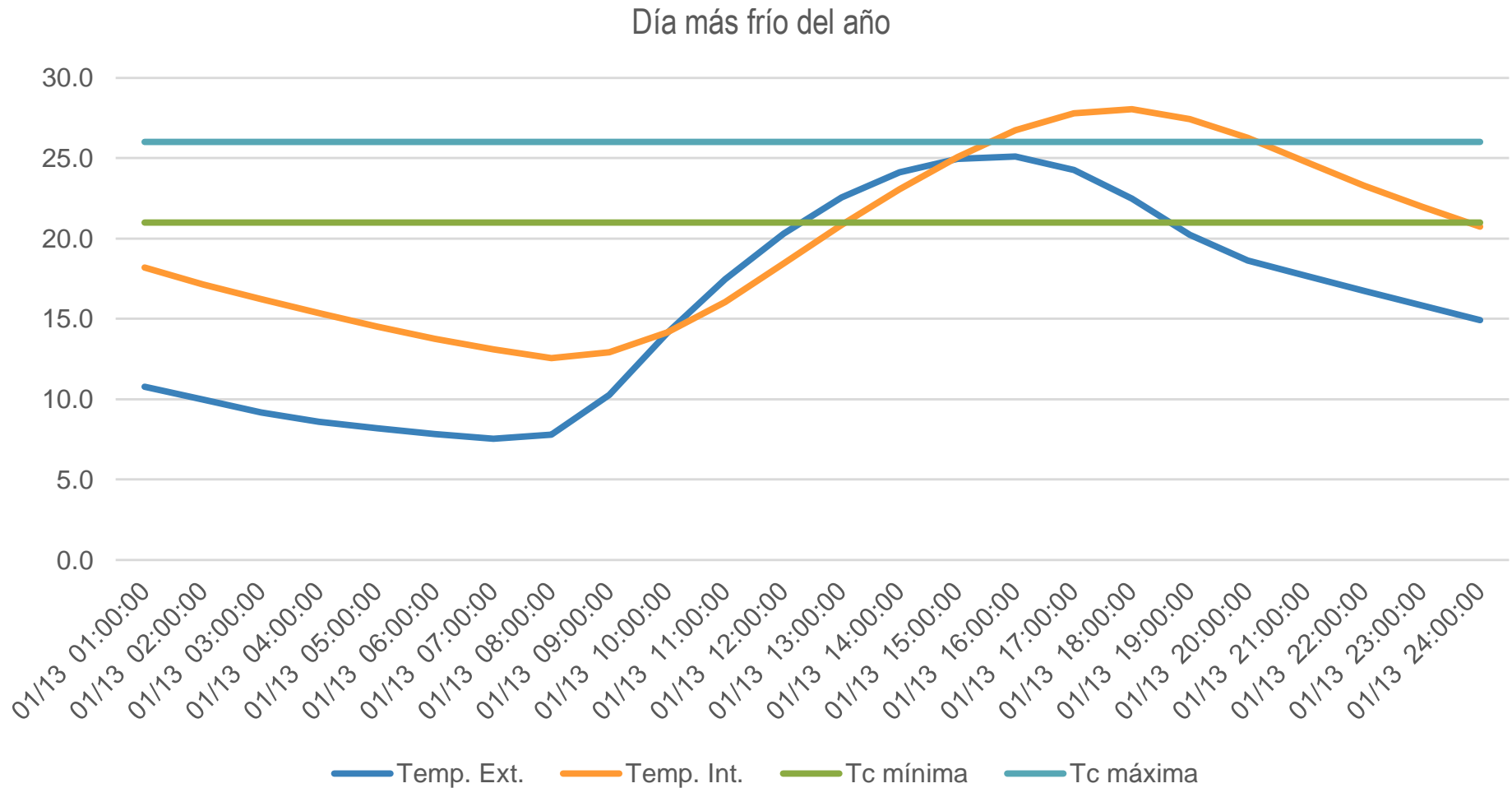


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con adobe en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca

Mes	Horas frías	Horas calientes	Horas de comodidad	Total horas del mes	% de comodidad
Enero	420	0	324	744	43.5
Febrero	212	0	532	744	71.5
Marzo	168	0	576	744	77.4
Abril	202	0	542	744	72.8
Mayo	275	0	469	744	63.0
Junio	351	0	393	744	52.8
Julio	325	0	419	744	56.3
Agosto	370	0	374	744	50.3
Septiembre	379	0	365	744	49.1
Octubre	316	0	428	744	57.5
Noviembre	345	0	399	744	53.6
Diciembre	389	0	355	744	47.7
Totales	3752	0	5176	8928	
	42.0	0.0	58.0		

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con adobe en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más caliente del año

Date/Time	Temp. Ext.	Temp. Int.	Tc mínima	Tc máxima
04/07 01:00:00	21.4	23.9	22.3	27.3
04/07 02:00:00	20.6	23.7	22.3	27.3
04/07 03:00:00	19.8	23.6	22.3	27.3
04/07 04:00:00	19.2	23.4	22.3	27.3
04/07 05:00:00	18.8	23.2	22.3	27.3
04/07 06:00:00	18.4	23.1	22.3	27.3
04/07 07:00:00	18.4	22.9	22.3	27.3
04/07 08:00:00	19.9	22.9	22.3	27.3
04/07 09:00:00	22.8	23.1	22.3	27.3
04/07 10:00:00	25.7	23.4	22.3	27.3
04/07 11:00:00	28.4	23.7	22.3	27.3
04/07 12:00:00	30.7	24.2	22.3	27.3
04/07 13:00:00	32.6	24.6	22.3	27.3
04/07 14:00:00	34.0	25.0	22.3	27.3
04/07 15:00:00	34.9	25.3	22.3	27.3
04/07 16:00:00	35.2	25.6	22.3	27.3
04/07 17:00:00	34.8	25.7	22.3	27.3
04/07 18:00:00	33.7	25.7	22.3	27.3
04/07 19:00:00	32.0	25.5	22.3	27.3
04/07 20:00:00	30.4	25.4	22.3	27.3
04/07 21:00:00	29.1	25.2	22.3	27.3
04/07 22:00:00	27.9	25.1	22.3	27.3
04/07 23:00:00	26.6	24.9	22.3	27.3
04/07 24:00:00	25.4	24.7	22.3	27.3

Temperatura máxima interior (máx.T.int.)
25.7° C

Temperatura mínima interior (min.T.int.)
22.9° C

Temperatura máxima del ambiente (máx.T.ext.)
35.2° C

Temperatura mínima del ambiente (min.T.ext.)
18.4° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.
17:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. ext.
16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.ext} - \text{min.T.ext}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T. ext}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.17

Desfasamiento térmico (tTL)

1

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

Vivienda construida con adobe en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más caliente del año

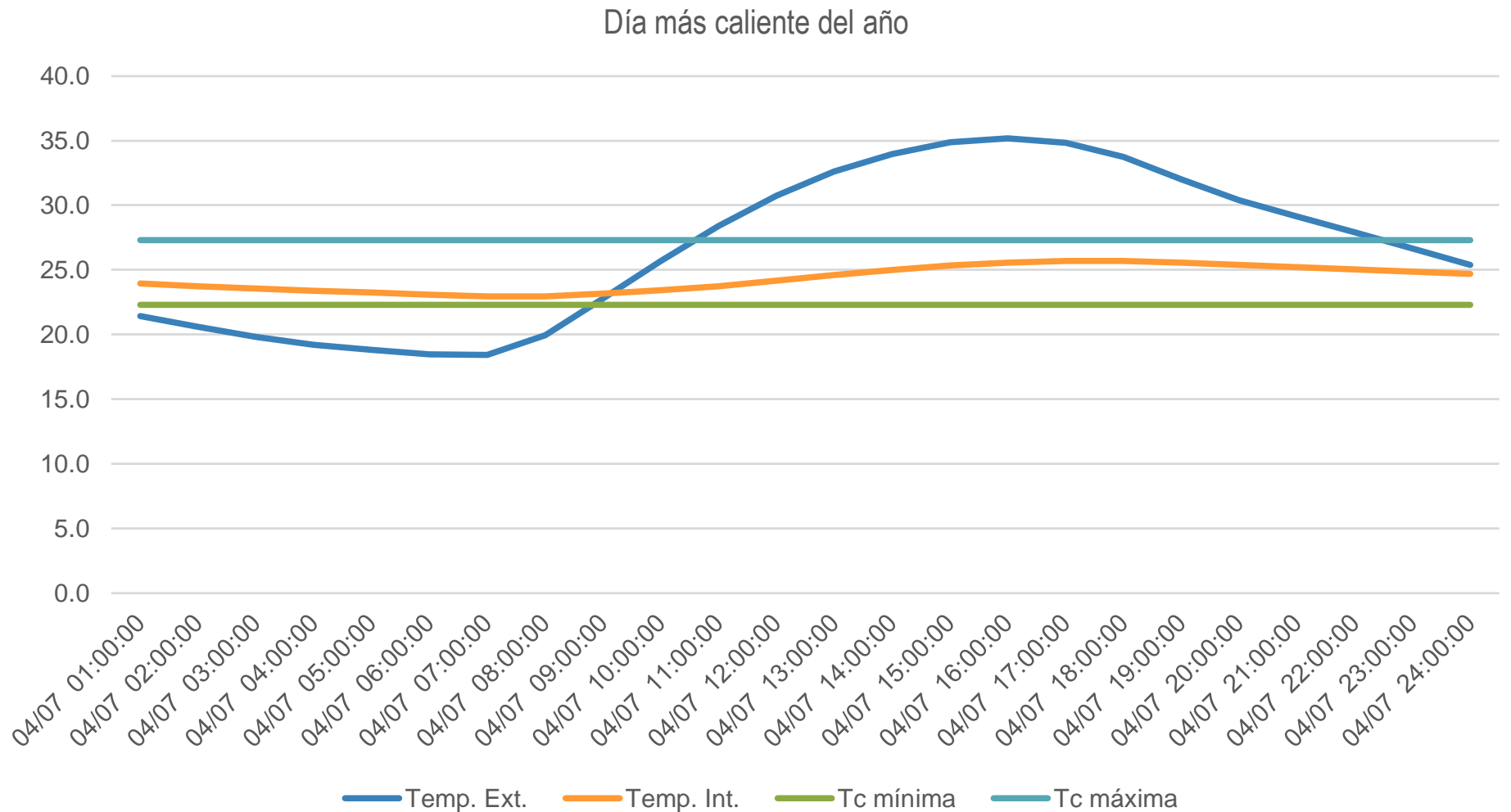


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

EVALUANDO CONFORT TÉRMICO CON ADOBE, BAHAREQUE, LADRILLO Y BLOCK: 3 ZONAS DE ESTUDIO EN OAXACA

Vivienda construida con adobe en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más frío del año

Date/Time	Temp.Ext.	Temp. Int.	Tc mínima	Tc máxima
01/13 01:00:00	10.8	19.0	21.0	26.0
01/13 02:00:00	10.0	18.8	21.0	26.0
01/13 03:00:00	9.2	18.6	21.0	26.0
01/13 04:00:00	8.6	18.3	21.0	26.0
01/13 05:00:00	8.2	18.1	21.0	26.0
01/13 06:00:00	7.8	17.9	21.0	26.0
01/13 07:00:00	7.5	17.7	21.0	26.0
01/13 08:00:00	7.8	17.6	21.0	26.0
01/13 09:00:00	10.3	17.7	21.0	26.0
01/13 10:00:00	14.1	18.1	21.0	26.0
01/13 11:00:00	17.5	18.5	21.0	26.0
01/13 12:00:00	20.3	19.0	21.0	26.0
01/13 13:00:00	22.6	19.4	21.0	26.0
01/13 14:00:00	24.1	19.8	21.0	26.0
01/13 15:00:00	25.0	20.1	21.0	26.0
01/13 16:00:00	25.1	20.4	21.0	26.0
01/13 17:00:00	24.3	20.4	21.0	26.0
01/13 18:00:00	22.5	20.3	21.0	26.0
01/13 19:00:00	20.2	20.0	21.0	26.0
01/13 20:00:00	18.6	19.8	21.0	26.0
01/13 21:00:00	17.7	19.8	21.0	26.0
01/13 22:00:00	16.7	19.7	21.0	26.0
01/13 23:00:00	15.8	19.6	21.0	26.0
01/13 24:00:00	14.9	19.5	21.0	26.0

Temperatura máxima interior (máx.T.int.)

20.4° C

Temperatura mínima interior (min.T.int.)

17.6° C

Temperatura máxima del ambiente (máx.T.ext.)

25.1° C

Temperatura mínima del ambiente (min.T.ext.)

7.5° C

Hora del día en que ocurre la máx. T. int.

16:00 hrs

Hora del día en que ocurre la máx. T. ext.

16:00 hrs

$$\mu = \frac{\text{máx.T.int} - \text{min.T.int}}{\text{máx.T.ext} - \text{min.T.ext}}$$

$$tTL = hr \text{ máx.T.int} - hr \text{ máx.T. ext}$$

Factor de amortiguamiento térmico (μ)

0.16

Desfasamiento térmico (tTL)

0

Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.

Vivienda construida con adobe en San Jerónimo Tlacoahuaya, Oaxaca – Día más frío del año

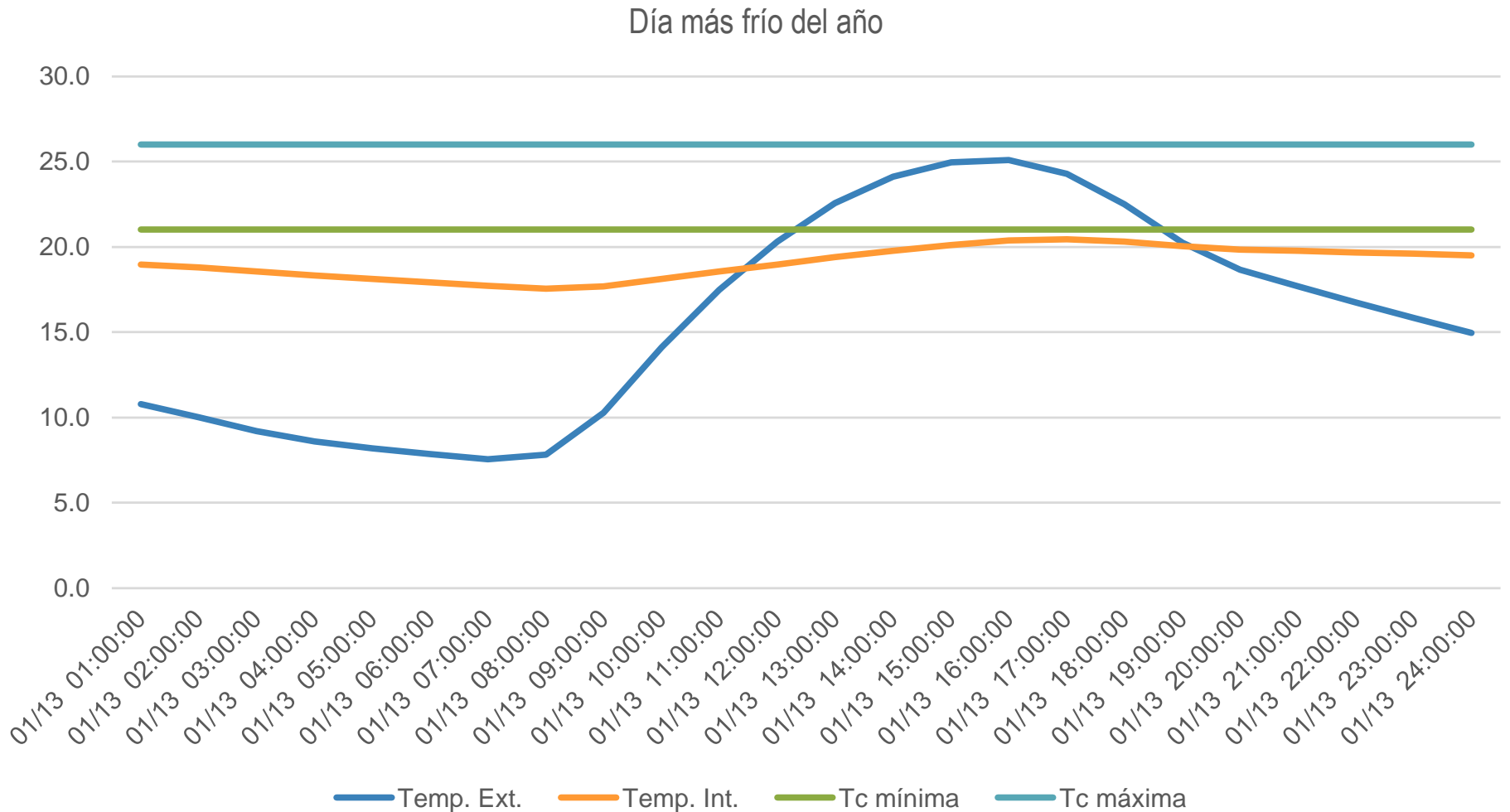


Imagen A-013: Elaboración propia a con base en el Servicio Meteorológico Nacional: Normales Climatológicas por Estado y el estándar ASHRAE 55 “Condiciones térmicas ambientales para ocupación humana”.