



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍAS

TIERRA ALIGERADA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SENSACIÓN TÉRMICA EN VIVIENDAS RURALES. CHALCHICOMULA DE SESMA, PUEBLA

TESIS

Que para optar por el grado de
MAESTRO EN ARQUITECTURA

PRESENTA:

ARQ. JAIME ÁLVARO PÉREZ TORRES

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Luis Fernando Guerrero Baca

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM

COMITÉ TUTOR

Dr. José Luis Bermúdez Alcocer

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM

M. en C. Eduardo Iván Velázquez Richards

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

Dra. María de los Ángeles Vizcarra de los Reyes

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM

M. en Ing. Sean Rodolfo Sebastián Vilchis Martínez

Laboratorio de Entornos Sostenibles, UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



**TIERRA ALIGERADA
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SENSACIÓN TÉRMICA
EN VIVIENDAS RURALES.**

CHALCHICOMULA DE SESMA, PUEBLA

ARQ. JAIME ÁLVARO PÉREZ TORRES



NUESTRO COMPROMISO ESTÁ

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



**UNAM
POSGRADO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN ARQUITECTURA**

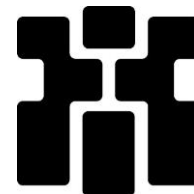
**TIERRA ALIGERADA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SENSACIÓN TÉRMICA EN
VIVIENDAS RURALES. CHALCHICOMULA DE SESMA, PUEBLA**

PRESENTA:

ARQ. JAIME ÁLVARO PÉREZ TORRES

DIRECTOR DE TESIS:

DR. LUIS FERNANDO GUERRERO BACA



JURADO

DR. LUIS FERNANDO GUERRERO BACA
DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ LUIS BERMÚDEZ ALCOCER
DR. JOSÉ LUIS BERMÚDEZ ALCOCER
M. EN C. EDUARDO IVÁN VELÁZQUEZ RICHARDS
DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES VIZCARRA DE LOS REYES
M. EN ING. SEAN RODOLFO SEBASTIÁN VILCHIS MARTÍNEZ
SINODALES

Agradecimientos

A Dios, a mi madre y toda mi familia, porque faltan palabras para explicar todo el apoyo recibido. A los miembros de mi Comité tutor, por toda su dedicación y enseñanzas a lo largo de este tiempo.

Agradezco al CONACyT por apoyarme económicamente en el desarrollo de mi investigación y a la UNAM. Al Laboratorio L4 de Ingeniería Civil de la FES Aragón, igualmente al Laboratorio de Entornos Sostenibles de la Facultad de Arquitectura, CONACyT-SENER 260155. Así como también a la UAM-Xochimilco y la ENCRyM-INAH, por haber tenido un pequeño espacio para el desarrollo de mis ensayos previos.

A todas y cada una de las personas que amablemente me brindaron su tiempo en la comunidad de Santa María Techachalco, ya que sin ellas no hubiera existido avance en mi investigación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMÁTICA	2
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVO GENERAL	4
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
METODOLOGÍA	5
CAPÍTULO 1. CLIMA Y BIENESTAR TÉRMICO	7
1.1. Atmósfera terrestre y conformación del clima	9
1.2. Clasificación climática aplicada al territorio mexicano	13
1.3. Vivienda como respuesta a la habitabilidad del clima y el entorno	15
1.4. Adaptabilidad humana al clima, la búsqueda del equilibrio y el bienestar	18
1.5. Medición del bienestar térmico.....	23
1.5.1. Método de Fanger o modelo estático	24
1.5.2. Modelo térmico adaptativo.....	25
1.6. Acondicionamiento pasivo del hábitat y alternativas sostenibles	26
1.7. Materiales sostenibles y acondicionamiento climático en el hábitat.....	33
1.8. La tierra cruda como material sostenible	37
1.9. Soluciones de acondicionamiento térmico con tierra cruda	39
Conclusiones de capítulo.....	42
CAPÍTULO 2. HÁBITAT RURAL Y SU FUNCIÓN DE BIENESTAR	44
2.1. El hábitat rural como adaptación al territorio y a la actividad productiva	46
2.1.1. Trásgresión de la ruralidad en el siglo XXI	49
2.2. Acercamiento a la clasificación de vivienda rural	52
2.3. Arquitectura vernácula expresión primaria de la vivienda rural	53

2.4. La comunidad como instancia de construcción y destrucción de valores en la vivienda rural	58
2.5. Vivienda rural contemporánea y su adaptación al clima	60
Conclusiones de capítulo	63

CAPÍTULO 3. CHALCHICOMULA DE SESMA, VIVIENDA RURAL Y BIENESTAR

TÉRMICO	64
3.1. Consecuencias del malestar térmico en localidades emplazadas en el Eje Volcánico Transversal	66
3.2. Chalchicomula de Sesma en Puebla como objeto de estudio y aplicación	70
3.3. Datos climatológicos y valoración del bienestar térmico	73
3.4. Tipología como medio de adaptabilidad climática en viviendas rurales de Chalchicomula de Sesma	80
3.5. Adaptabilidad al clima de la vivienda rural en la localidad	92
3.6. Consumo energético como referente del bienestar	96
3.7. Respuesta de la vivienda rural contemporánea local respecto a necesidades de bienestar	101
Conclusiones de capítulo	111

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DEL SUELO LOCAL PARA FINES CONSTRUCTIVOS.

4.1. Suelo disponible en la localidad y litocromática	115
4.2. Muestreo de suelo	120
4.3. Pruebas de campo	122
4.3.1. Ensayo de sedimentación	123
4.3.2. Ensayo de cohesión	124
4.3.3. Ensayo de porosidad	126
4.4. Pruebas de laboratorio	128
4.4.1. Cuarteo del suelo	128
4.4.2. Límites de Consistencia	129
4.4.3. Análisis granulométrico	133
4.5. Estabilización de la tierra como material de construcción	136
4.6. Alternativa estabilizante a la barbonita para tierra aligerada	140
Conclusiones de capítulo	145

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE LA TIERRA ALIGERADA PARA MEJORAR LA SENSACIÓN TÉRMICA	147
5.1. Propiedades térmicas de la tierra aligerada en comparativa a otros materiales	149
5.2. Verificación de respuesta térmica en sitio	155
5.3. Simulación por computadora del sistema para una vivienda rural contemporánea local	160
5.4. Rectificación y mejora del sistema mediante simulación	173
Conclusiones de capítulo	185
CONCLUSIONES	187
FUENTES	192

INTRODUCCIÓN

Al hacer referencia a la vivienda rural es frecuente vincular los modos de vida con la actividad agropecuaria y las expresiones vernáculas del hábitat, sin embargo, dicho planteamiento puede ser obsoleto si se consideran manifestaciones sociales que han incidido en el replanteamiento de la misma, a tal grado que desde las Ciencias Sociales, en plano siglo XXI, sea reconsiderado el concepto de ruralidad como una circunstancia válida. En este documento, más que replantear conceptos sociales, se retoman posturas actuales para tratar de entender el fenómeno de migración material arquitectónica en la vivienda rural y en qué medida su constitución responde a los requerimientos de bienestar óptimos a los usuarios.

Por tal circunstancia y al considerar que varios de los conceptos planteados no se consideran en la formación primaria de la Arquitectura en México, el primer capítulo se enfoca hacia el reconocimiento teórico de los factores y elementos que constituyen el clima y como este, influye en la percepción humana y el bienestar o confort. Por su parte, el segundo capítulo se vincula hacia la temática social en que se concibe la vivienda rural y sus implicaciones sobre el hábitat de este tipo en nuestro país, la finalidad de realizar este análisis es tener un preámbulo de la fenomenología en la que se actualmente se sitúa este tipo de edificaciones y el por qué la vivienda vernácula, al menos en este lugar, ha perdido vigencia.

Es en el tercer capítulo donde se aborda la localidad de estudio y se aplican conceptos teóricos referenciados en los primeros dos capítulos, de esta forma, se describen los tipos de vivienda en la zona conforme a su materialidad y se procede a clasificarlas como vivienda rural vernácula y vivienda rural contemporánea. Al no existir ejemplos adecuados de la vivienda vernácula, se procede a tomar mediciones de temperatura y humedad relativa en locales de dos viviendas contemporáneas de la zona para su evaluación de confort, asimismo el comparativo con la vivienda tradicional se lleva a cabo mediante un sondeo con la población a fin de conocer su grado de satisfacción con el clima interior de ese tipo de viviendas, hoy casi desaparecidas.

Una vez que se ha introducido en la problemática de manera experimental, se procede a verificar la hipotética conformación del suelo y materiales disponibles localmente, a manera de buscar una solución auxiliar que sea sostenible y que pueda revertir la situación de inconformidad térmica en la vivienda rural contemporánea de la zona, así se procede a estudiar el suelo disponible mediante ensayos en campo y en laboratorio para verificar las variaciones

que puedan existir en el primer caso, para posteriormente evaluar las formas de estabilización en sitio más adecuadas que se puedan aplicar en una hipotética autoconstrucción. En este sentido, se considera que el elemento analizado para propuesta final debe cumplir con otras características que difieran de la arquitectura vernácula local, pero que funcione a manera de amortiguador térmico.

En el quinto capítulo, se presenta y se evalúa un modelo teórico, así como alternativas de uso para mitigar los rangos de discomfort térmico en la vivienda rural de la zona. Se menciona que la fase de aplicación y medición en una vivienda no fue viable debido en parte a recursos financieros, así como a la contingencia sanitaria registrada del año 2020. Por lo tanto, el producto final de esta investigación queda bajo un planteamiento teórico, en busca de ser modificado y perfeccionado para esta u otras localidades con características similares.

PROBLEMÁTICA

Una de las repercusiones por desigualdad social no solo en nuestro país, sino en el mundo, es el acceso a una vivienda digna, misma que por circunstancias de nuestra especie debe ser utilitaria en cuanto a atributos de refugio y comodidad a nuestros organismos. Bajo esta situación, la manufactura de una vivienda u otro elemento arquitectónico históricamente se ha adecuado a las posibilidades de adquisición de recursos naturales (hoy ligados a la economía), a expresiones individuales inmersas en un contexto cultural y a la adaptación con el entorno ambiental, dado que las actividades de subsistencia eran locales y dependían en su totalidad del medio natural.

Es a partir de la aparición de la manufactura industrial y más recientemente en la segunda mitad del siglo XX, cuando la masificación de rutas comerciales consecuencia de avances tecnológicos y de infraestructura, permiten que las comunidades ya no sean cien por ciento dependientes de sus recursos naturales. Por consecuencia, la construcción de viviendas también se ve afectada, teniendo al alcance materiales que ya no son fabricados en obra, por lo que se reducen tiempos de ejecución y en muchos casos, costos. Esta situación, aunada a ideologías imperantes en medios sociales ha propiciado el abandono de técnicas constructivas tradicionales, situación que no se puede determinar como positiva o negativa, toda vez que el

local edificado cumpla con parámetros de bienestar, protección y adecuación a las actividades de determinado individuo.

En este sentido, la investigación se torna alrededor de una problemática observable en una región del Estado de Puebla, donde por circunstancias geográficas locales, existen descensos térmicos que son poco favorables para los pobladores, y que por consecuencia, la migración de sistemas y materiales constructivos tradicionales hacia los industrializados, puede cuestionarse como un parámetro de bienestar social.

Se toma como delimitante territorial una localidad ubicada en el municipio de Chalchicomula de Sesma, Estado de Puebla y que responde al nombre de Santa María Techachalco. En esta localidad, principalmente existen tres medios de subsistencia económica, el primero que se relaciona al entorno agrícola (del cual, históricamente se ha subsistido), el segundo ligado a una zona industrial en una localidad cercana y el tercero, a remesas de familiares de alguna localidad urbana nacional o de los Estados Unidos de América. Es esta situación la que incide en que gran parte de la población local quede fuera de los rangos de pobreza extrema según valores determinados por entidades gubernamentales, por lo que una situación económica poco menos desfavorable que en otras localidades rurales permite que exista también una vivienda que incorpore materiales industrializados, que en teoría tienen mejor funcionamiento estructural y cualidades que su contraparte de tradicionales.

De esta forma, el periodo invernal no tendría por qué representar rangos de inconformidad en locales interiores, principalmente nocturnos que es cuando existe un mayor descenso térmico, no obstante, en registros realizados en viviendas de manufactura contemporánea y mostrados en el capítulo 3, se puede observar que no existen rangos determinados como confortables en relación a fundamentos de Olgyay o la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.* (ASHRAE). Circunstancia que se encuentra mencionada por diversos pobladores, quienes consideran que las viviendas tradicionales, cuya climatización se realizaba a partir de la masa térmica, eran más agradables en cuanto a la percepción térmica en las horas de sueño.

JUSTIFICACIÓN

Se refiere que al no existir rangos propicios de climatización interior, los usuarios tienden a emplear diversos medios para alcanzar el grado óptimo de bienestar, mismos que van desde los más simples como la ingesta de más calorías, bebidas calientes o el uso de vestimenta más apropiada, hasta otras como el uso de equipos simples de calefacción, luz cálida encendida o dormir cerca de estufas o anafres que producen gases que comprometen la salud. Más allá de los riesgos propios por inhalar elementos potencialmente tóxicos, asfixia por falta de oxígeno en recién nacidos o adultos mayores por cubrirlos en exceso, se debe señalar que los decesos por estas dos causas son mínimos. Sin embargo, las problemáticas ocasionadas a largo plazo por inhalación constante de gases tóxicos o respirar ambientes con una humedad excesivamente alta, pueden representar enfermedades crónicas de tratamiento costoso, mencionando también que enfermedades respiratorias como la Influenza o el recién manifestado Covid-19 incrementan su letalidad en sistemas respiratorios poco saludables.

Es por estas circunstancias que en la localidad analizada y dadas las condiciones de ingreso per cápita, el planteamiento de adecuar las viviendas a una mejor calidad de vida, en referencia al bienestar climático es una necesidad arquitectónica que influye en la salud preventiva de población que debido a condiciones económicas y de formación académica, que aunque en media no se encuentra en rezago social, si se encuentra desfavorecida respecto a localidades urbanizadas. Por lo tanto, un incremento en la calidad de vida, aunque este corresponda en el aspecto del funcionamiento de la vivienda, se puede ver reflejado a largo plazo en situaciones que impactan en la salud de los habitantes.

OBJETIVO GENERAL

Analizar una posible solución que en medida de lo posible mejore la sensación de bienestar térmico en pobladores de una zona rural cuyas viviendas corresponden a una manufactura contemporánea con block macizo de concreto y lámina metálica como cubierta. Para lo cual, se consideran materiales disponibles en la localidad que por consecuencia pueden reducir el costo y puedan aplicarse sin la necesidad de asesoría especializada.

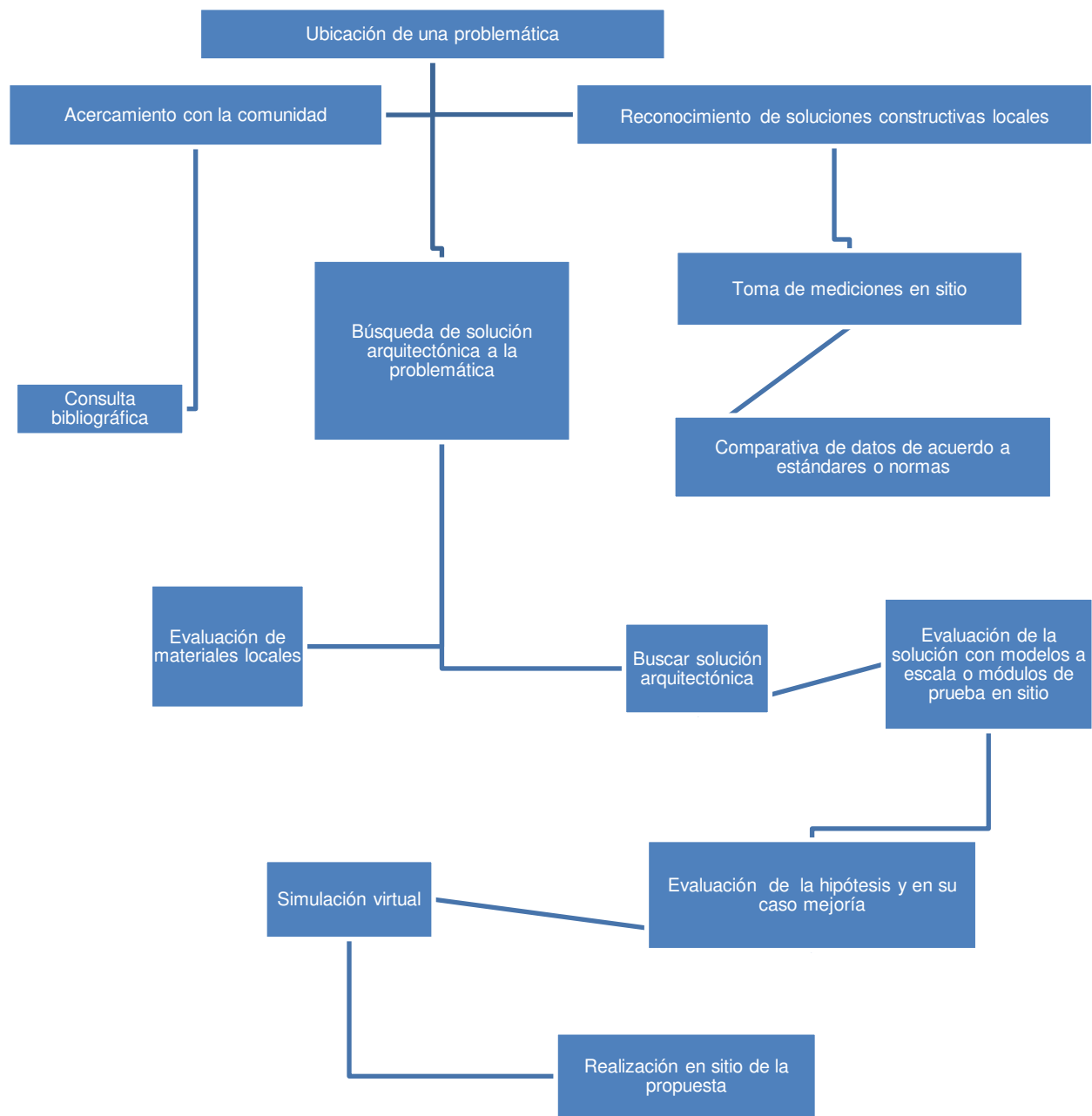
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar si la tierra arenosa puede funcionar como elemento para la técnica de tierra aligerada.
- Realizar un muestreo de las condiciones de confort térmico a las que se enfrentan habitantes de la localidad de estudio respecto a las viviendas que poseen.
- Verificar correspondencias de pruebas de caracterización de suelos en campo con laboratorio.
- Reflexión sobre la valorización de los materiales contemporáneos como índice de bienestar en viviendas.

METODOLOGÍA

A partir de conocer una problemática del hábitat causada por diversas variables que dirigen la probabilidad reducida de que los habitantes de la localidad materialicen el hábitat conforme a parámetros bioclimáticos y técnicas tradicionales en tierra cruda, se decide hacer un estudio en el cual se aprovechen recursos locales de bajo impacto y que puedan ser auxiliares para mitigar el estrés térmico en las viviendas ya existentes. Por lo tanto, aunque la solución técnica puede llevar a la resolución de un prototipo que pueda replicarse en sitio, escala 1:1, el enfoque de la investigación se dirige hacia el análisis de alternativas que de acuerdo a los materiales disponibles pueden existir, en alusión a la tierra aligerada como medio sostenible.

Se menciona así, que una de las principales limitantes de la investigación se encontró en campo, ya que al existir un proceso de destrucción de la vivienda vernácula local, no fue posible la toma de datos de viviendas edificadas bajo estos sistemas que se encontrarán sin existir combinación de materiales más recientes. De igual manera, las soluciones teóricas finales aquí contempladas no se llevaron a cabo debido a limitantes ajenas a la propia naturaleza de la investigación.





CAPÍTULO 1. CLIMA Y BIENESTAR TÉRMICO

Se considera que el clima es una característica externa a los espacios arquitectónicos, determina las estrategias a tomar en consideración para el diseño con base en el comportamiento humano y las actividades realizadas en un ellos. Es por esta razón que el acercamiento las nociones pertinentes a la Meteorología facilitan la comprensión y la manera en que un objeto edificado puede adaptarse de mejor manera en función de otros aspectos que son el ahorro energético, elección de materiales de construcción y ante todo, el estado de bienestar o malestar que el usuario tendrá con el objeto arquitectónico que ocupa.

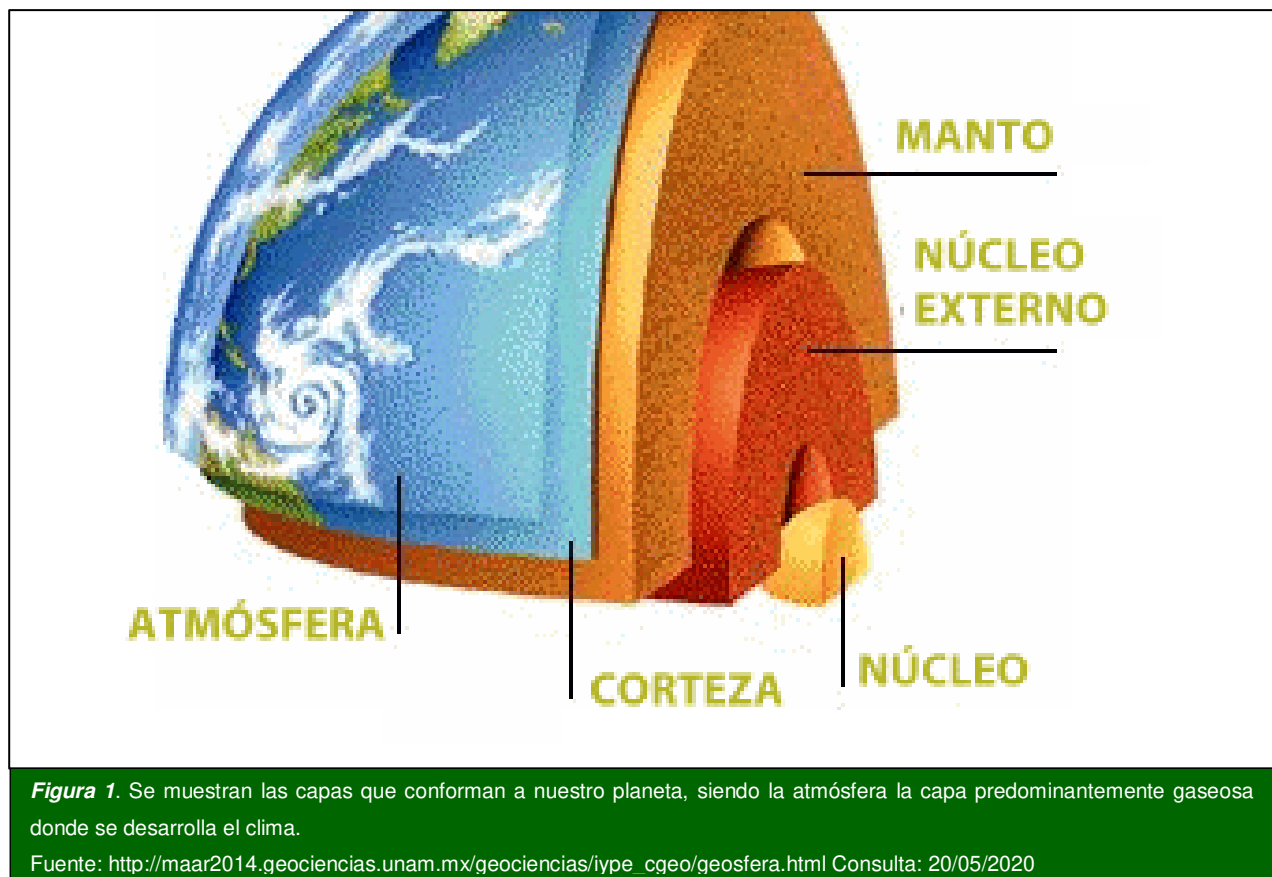
Dado que el objeto principal de la investigación se dirige hacia el tema de la vivienda popular en una zona rural específica en el Estado de Puebla, se debe plantear un acercamiento general a los conceptos que inciden en la sensación térmica de los seres humanos al habitar un espacio arquitectónico, así como su vínculo con las manifestaciones sociales y económicas que influyen en el desarrollo del hábitat de esta zona, al considerar que la manufactura de dichas edificaciones es realizada de manera autónoma, sin la intervención de especialistas en el tema, y en similitud de lo que ocurre comúnmente con la realización de la vivienda popular en zonas urbanas.

Cabe mencionar que a partir de los confinamientos urbanos recientes causados por la pandemia, se ha enfatizado la precariedad de las estrategias de adaptación de las viviendas urbanas a entornos saludables y que la interacción del ser humano con su entorno es una acción capaz de incrementar la calidad de vida de nuestra especie, ya que esta relación permite sanidad a niveles físicos y mentales. Asimismo, en esta interacción se desarrolla la convivencia comunitaria, a niveles de desarrollo colectivo e individual y sus relaciones culturales e íntimas con el entorno geográfico, situación que de alguna manera ocurría con las expresiones del hábitat rural.

Como se ha mencionado, en ausencia de esta convivencia con el entorno social y ambiental, el organismo humano muestra daños, en sus estructuras biológicas y mentales. El presente capítulo se acerca de manera general a los conceptos que inciden en las cualidades del bienestar térmico de nuestra especie, al considerar que la Arquitectura se desarrolla como un objeto cuya función primordial es la protección de los individuos ante fenómenos naturales.

1.1. Atmósfera terrestre y conformación del clima

El planeta Tierra como cualquier otro elemento en el universo se constituye de materia y energía, pero debido a su conformación particular ha permitido el desarrollo de la vida. No obstante, la disposición sistémica de nuestro planeta requiere que cada elemento que lo compone se encuentre en equilibrio, ya que alteraciones en los elementos que lo conforman, significan un riesgo exponencial ante agentes del espacio exterior que pueden comprometer la vida que habita en ella y a la cual pertenecemos. Por lo tanto, existe una conformación de la estructura terrestre que se ha clasificado por la ciencia en estructura interna -compuesta por núcleo, manto y corteza-, y en estructura externa –que corresponde a las capas de la atmósfera- (figura 1).



Se considera que la atmósfera está constituida por diferentes gases: “nitrógeno (78%), oxígeno (21%), argón (0.93%), dióxido de carbono (0.039%), entre otros elementos en menores proporciones” (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013. p.5). Como tal, esta composición es indispensable para el desarrollo de la vida, ya que además de proveer de

elementos necesarios en el desarrollo y subsistencia de organismos aeróbicos, es responsable de procesos como la fotosíntesis y la protección ante agentes del espacio exterior que pueden amenazar la vida terrestre, mismos que son nocivos para la subsistencia biótica de nuestro planeta y el equilibrio ambiental del mismo. Por tal motivo, aunque la composición atmosférica permite regular la temperatura del planeta, la existencia de eventos meteorológicos como agentes que ocasionan variabilidad climática, determinan la necesidad de refugio en los seres vivos, condición que es el origen del fenómeno conocido como hábitat en la especie humana, mismo que parte de la necesidad de refugio ante amenazas bióticas y atmosféricas.

No obstante, existe un incremento en la temperatura del planeta que es resultado de la actividad misma en la atmósfera, pero debido al crecimiento desmedido de actividades *antrópicas*¹ en las últimas décadas, este fenómeno se ha visto acelerado al existir mayores emanaciones de elementos contaminantes primarios como el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) o plomo (Pb), que se transforman químicamente en la atmósfera en contaminantes como el ozono (O₃) (Ballester, 2005). Estos elementos son reconocidos como *Gases de Efecto Invernadero* (GEI) e impactan en el planeta, determinando cambios en la estabilidad climática del mismo a través del denominado *calentamiento global*², mismo que a su vez favorece al denominado *cambio climático*³.

Cabe mencionar, que algunas actividades humanas amplían la emisión de Gases de Efecto Invernadero⁴ (GEI), responsables de impactar en la estabilidad climática, por lo que se menciona que “La Tierra se ha calentado en los últimos años, alrededor de 0.78 grados

¹ Toda aquella actividad producto de la acción humana

² “Se refiere a la tendencia a incrementar que durante los últimos 150 años ha mostrado la temperatura global del planeta, fenómeno que se atribuya al efecto de la contaminación humana, en particular a la quema de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo y a la tala de bosques” (Caballero et al., 2007, p. 3).

³ “engloba al concepto anterior (calentamiento global), pero además incluye a todas las variaciones del clima que han ocurrido durante de la historia del planeta (4,000 millones de años) y que están asociadas a factores como cambios en la actividad solar, en la circulación oceánica, en la actividad volcánica o geológica, en la composición e la atmósfera, etc” (Caballero et al., 2007, p. 3).

⁴ “Al calentarse la superficie de la Tierra transforma la luz solar (de alta energía) en radiación de baja energía -ondas de longitud grande, cargadas hacia el infrarrojo- que refleja nuevamente hacia la atmósfera. Esa energía de onda amplia o infrarroja, si puede ser absorbida de manera muy eficiente por algunos de los gases atmosféricos, de manera particular el CO₂ (pero también el vapor de agua, el metano y otros), siendo ésta la principal fuente de calor para la atmósfera” (Caballero et al., 2007, p. 5). Por lo que los gases mencionados pueden clasificarse como Gases de Efecto Invernadero, ya que elevan la temperatura de la atmosfera.

centígrados, de seguir esta tendencia para el año 2100 el planeta se calentará entre 1.8 y 4.0 grados centígrados” (Conde, 2011, p.18). La emisión de tales gases es producto en gran medida de actividades industriales, entre las que desafortunadamente se encuentra la construcción, por lo que depender de materiales altamente procesados para la edificación de vivienda de bajo costo resulta una variable que se debe considerar en la evaluación de soluciones de vivienda digna.

Pero más allá de señalar cambios en la estructura atmosférica como consecuencia de acciones humanas y centrarse en las afecciones que la actividad constructiva genera en ella, se debe entender y definir al clima como un evento que determina las condiciones ambientales en una localidad determinada, sin embargo, es necesario señalar que a los acontecimientos meteorológicos presentes en la atmósfera en un rango promedio de 12 a 72 horas se le considera como *tiempo atmosférico*, mientras que el *clima* es un comportamiento meteorológico evaluable en largos periodos de tiempo, por lo menos 10 años, y que se presenta en una región específica del globo terráqueo (Benavides y León, 2007). El clima como tal, es determinante en el acoplamiento de todos los organismos vivos a ecosistemas específicos, lo que justifica que alteraciones en el *clima* son perjudiciales para las cadenas de la vida.

Para tener un margen de referencia sobre los componentes del clima, el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2008, p. 14) define como *elementos* que definen al clima a: “temperatura, precipitación y humedad, dirección y fuerza del viento, presión atmosférica, así como corrientes marinas”. Estos *elementos* que conforman el clima de alguna manera se interrelacionan entre sí, influyendo en el desarrollo biótico de los territorios, esa es una de las razones por las cuales existan especies biológicas que sean únicas en determinadas regiones, como es el caso de especies vegetales que influyen en la caracterización de una zona climática. Para finalidades de la presente investigación, se consideran algunas definiciones a tomar en cuenta en el desarrollo de la misma y que responden como elementos del clima, ellas son:

- a) **Temperatura atmosférica.-** se considera como una condición de transferencia energética en la atmósfera, por lo que depende del intercambio de calor entre las moléculas que se encuentren en ella. A consecuencia de que la temperatura es un factor que depende del calor, el frío se puede relacionar como la disminución de calor en un cuerpo. Para Rodríguez et al. (2004, p.12) el calor se define como “una magnitud

relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presenten éstas, mayor será la temperatura”. La Física define que la forma de *trasferencia de calor*⁵ de un cuerpo a otro se puede realizar de tres maneras: por conducción, convección y radiación. La temperatura (*T*) es cuantificable y puede medirse en grados Centígrados o *Celsius* (C), *Kelvin* (K) o *Fahrenheit* (F), siendo común en México la medición en grados *Celsius* (C).

b) Humedad atmosférica.- al definir que la atmósfera es la suma de gases que conforman el aire y de vapor de agua que podemos percibir en el ambiente, la humedad es la cantidad de agua presente en la atmósfera, y su acumulación depende de la zona geográfica del planeta (Tejeda-Martínez et al., 2018). De este modo, surgen conceptos como humedad específica, humedad absoluta y humedad relativa, esta última (*HR*) es cuyo valor se cuantifica comúnmente para obtener los rangos de bienestar térmico en locales arquitectónicos y por lo tanto, en el presente documento se refiere constantemente a ella cuando se señala el concepto de humedad. Asimismo, se define que:

“La humedad relativa —a diferencia de la absoluta o de la específica— no estipula el contenido de vapor de agua por unidad de masa o volumen, simplemente indica el porcentaje de vapor disuelto en un volumen de aire en razón del vapor necesario para saturarlo” (Tejeda-Martínez et al., 2018, p.36).

En tanto, existen los denominados *factores* que influyen en la variabilidad del clima e incluso pueden dar origen a los denominados microclimas, estos son: “latitud, altitud, la distancia del mar, relieve, vegetación, continentalidad, corrientes marinas e incluso el ser humano” (INEGI, 2008, p.15). Se menciona que acciones humanas como la Arquitectura, influyen en los microclimas de una localidad, cuyas condiciones originales se transforman por acciones humanas como construcciones, ciudades o similares, donde los denominados *factores* son alterados, incidiendo en cambios del microclima de una localidad.

Por ello, aunque las condiciones naturales de la Tierra por si mismas facilitan el incremento de la temperatura global, la actividad humana ha acelerado este proceso en las

⁵ Un concepto de la física es que el calor es una energía en constante flujo, donde pasa de un cuerpo (con mayor carga calorífica) hacia el otro (con menor carga calorífica) hasta que logren su equilibrio calorífico.

últimas décadas. Situación que incide de manera directa en factores como temperatura y humedad atmosféricas de nuestro planeta, afectando así, en el equilibrio del entorno natural, por lo que pone las manifestaciones bióticas del globo terráqueo, entre ellas nuestra especie, corren riesgo de desaparecer. Es así que el *calentamiento global* incide en la estabilidad de condiciones climáticas y sus clasificaciones en todas las regiones del planeta, mismas que han propiciado las expresiones arquitectónicas y adaptabilidad del ser humano a diferentes regiones geográficas.

1.2. Clasificación climática aplicada al territorio mexicano

La percepción térmica del ser humano respecto a su entorno, así como el impacto que tiene ella sobre la realización de actividades y la producción alimentaria, le ha dado la necesidad de identificar y clasificar las condiciones climáticas en las regiones que habita y desarrolla su vida, por lo que el origen de este tipo de clasificaciones climáticas es el reconocimiento intuitivo de la sensación ambiental, a través de la Historia se han ido sumado parámetros de reconocimiento y medición científica como la valoración de la temperatura, precipitación, vegetación, humedad, etc.

Sánchez y Garduño (2008) definen dos tendencias para la clasificación climática, por un lado, las clasificaciones *genéricas*, aquellas que se basan en fundamentos científicos sobre el estudio de las condiciones atmosféricas, y las *empíricas*, basadas en índices simplificados como la humedad y la temperatura. No obstante, en nuestro país se ha tomado como base la clasificación elaborada por Köppen⁶, misma que es la más empleada a nivel mundial y agrupa factores como precipitación pluvial temperatura y vegetación, señalando que a dicha clasificación se le considera como una clasificación empírica. La clasificación de Köppen caracteriza a 5 grupos climáticos mediante la evaluación de precipitación total anual y mensual. Dichos grupos comprenden: grupo A para el clima tropical lluvioso, grupo B para el clima seco, grupo C para el clima templado lluvioso, grupo D clima boreal y grupo E para el clima frío o

⁶ “En México, García (1964) realizó una serie de modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (1936) debido a lo sencillo de su aplicación y a la premisa implícita de que la vegetación natural constituye un indicador del clima y considera que algunas de sus categorías se apoyan en los límites climáticos de ciertas formaciones vegetales. Los climas son definidos por los valores medios anuales y mensuales de las temperaturas y las precipitaciones, lo que permite diferenciar varios grupos y subgrupos climáticos que se identifican mediante un código de letras” (Hernández et al.,2018, p. 3) .

polar (García, 1998), situación que se replanteo por esta misma investigadora y cuya modificación es aplicada hoy día (figura 2).

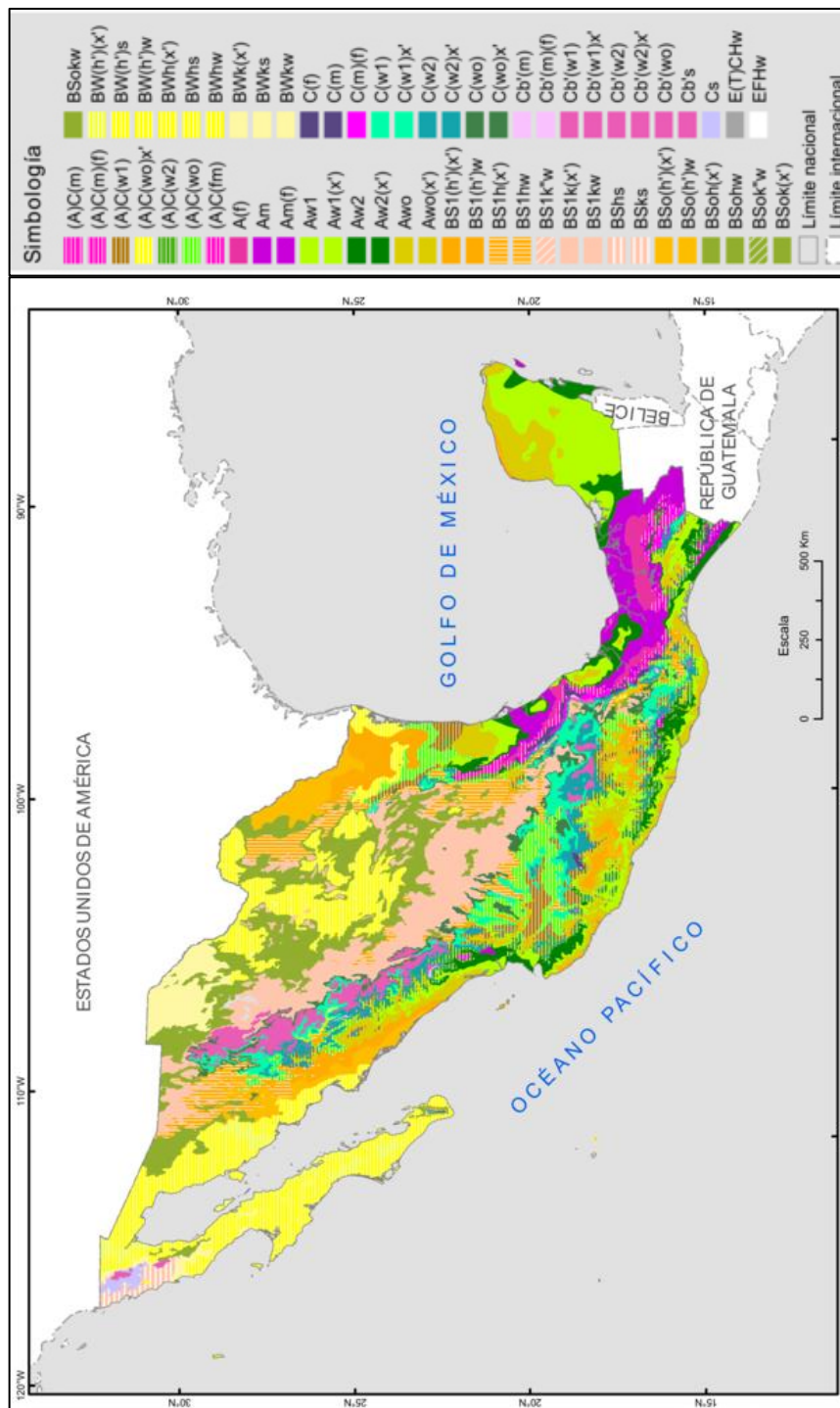


Figura 2. Se muestra la diversificación general de climas de acuerdo a Köppen para el territorio mexicano

Fuente:
http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/F047_Cartografia.pdf

Al señalar que a causa de la ubicación de nuestro país, donde el choque de placas tectónicas ha dado origen a diversas cadenas montañosas, existen regiones con una altura superior a los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm), se favorece la variabilidad climática y microclimática en zonas relativamente cercanas entre sí. Por consiguiente, es común encontrar zonas templadas en la zona central del país o también llamada como Altiplano Central, aun cuando geográficamente se le correlacione con una zona *intertropical*⁷.

La propuesta de García a la clasificación de *Köppen* en el territorio nacional, establece climas clasificados como (B) principalmente para la región norte del país, la cual se caracteriza por tener ambientes secos, exceptuando elevaciones de cadenas montañosas, hacia la zona central y sur, se observa un dominio del clima templado (C), propiciado también por elevaciones montañosas y valles que predominan en estas zonas del país, existiendo un incremento de precipitación pluvial en la época veraniega debido a la presencia de ciclones tropicales, pero también, descensos de temperatura en las estaciones de otoño e invierno por fenómenos meteorológicos nombrados que la agricultura ha denominado como *heladas*, las cuales son el resultado de un descenso en la temperatura por debajo de los 0 °C (Snyder y de Melo-Abreu, 2010), lo que se traduce en sensaciones térmicas poco favorables para organismos vivos.

1.3. Vivienda como respuesta a la habitabilidad del clima y el entorno

Aunque vincular la función de la vivienda como mecanismo de resguardo del ser humano es una aseveración aceptada, delimitar el significado de lo habitable únicamente a la funcionalidad de un objeto que satisface necesidades fisiológicas de nuestra especie y protección de agentes exteriores, como lo son las amenazas meteorológicas, geológicas y biológicas, es la negación misma de la constitución de la vivienda como necesidad humana. Para López de Asiaín (2010), la habitabilidad es el concepto más cercano a la definición de Arquitectura y como tal, ella misma es entendida como una expresión de la cultura⁸ ante las necesidades humanas de subsistencia.

⁷ Región geográfica que se ubica entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio.

⁸ Para Ron (1977, p.48) la cultura: “abarca no solamente el proceso y los resultados de la intervención del trabajo humano sobre la naturaleza, su carácter histórico, mutable, en constante cambio, sino también las relaciones sociales que en el proceso surgen, aquellas que entre los hombres, entre grupos humanos, entre clases y nacional”.

Es por esta razón, que el ser humano, al ser un ser social ha llevado la función de lo habitable hacia fronteras de la expresión cultural, Aguillón (2012) menciona tres necesidades en la habitabilidad: las fisiológicas, de seguridad y de pertenencia social, mismas condicionantes que determinan que el hábitat sea una expresión local de acuerdo a los materiales locales y modos de vida (*figura 3*).



Figura 3. La vivienda en su esencia es un objeto habitable cuya finalidad es proteger al ser humano ante amenazas de su entorno, en origen ella se realizó de materiales cuya disponibilidad se encontraba en el medio. Por esta circunstancia, el desarrollo cultural de un grupo humano también queda influenciado por su entorno natural.

Fuente: https://www.paho.org/per/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=viviendas-saludables-948&alias=68-guia-vivienda-saludable-8&Itemid=1031

Consulta: 02/08/2020

Por otro lado, Vallardes et al. (2015) señalan que autores como Bentley se han abocado el estudio de lo habitable desde la percepción espacial y no desde su dinámica social que interviene en la calidad de vida del sujeto:

“...si se analiza la relación que existe entre la habitabilidad y la calidad de vida, en cuanto a que si la primera es una condicionante de la calidad de vida o si ésta última es una característica de la primera, se puede mencionar que la calidad de vida es un concepto con múltiples significados que generalmente se relacionan con el bienestar del ser humano en cualquier ámbito de la vida, ya sea social, económico, ambiental, político, etcétera, y en la habitabilidad el bienestar que obtiene el ser humano es solamente el que le brinda el espacio o contexto en cualquier escala territorial” (Vallardes et al., 2015, p.16).

En este sentido, la habitabilidad se convierte en un reflejo de la calidad de vida del usuario, por ello la vivienda como expresión material de la habitabilidad es un objeto (confinado por una envolvente o no) que cumple con requerimientos biológicos y culturales, a nivel individual y colectivo de nuestra especie. Por ello, funciones como la seguridad o pertenencia social se establecen desde la escala cultural y biológica, toda vez que se entiende que para la disciplina arquitectónica el ser humano es una composición de estas dos variables y la alteración en una de estas condiciones afecta a la otra y viceversa.

Así, la vivienda al entenderse como un producto de manufactura humana para múltiples necesidades, queda a merced de las posibles circunstancias que puedan incidir en la configuración de la misma, una de ellas es la afección por circunstancias ambientales y como consecuencia, climáticas. Al mencionar que el clima es una composición de múltiples factores, que a escala arquitectónica repercuten de manera fisiológica y psicológica en el usuario que habita determinado espacio, la importancia de acondicionar la vivienda se liga a la sensación térmica perceptible por el ser humano y la forma en que este se siente agradable en el espacio.

Cabe señalar que no toda la vivienda surge de los mismos requerimientos humanos, del mismo modo en que existe una diversificación en los programas arquitectónicos de acuerdo con las necesidades del usuario, la vivienda no puede ser genérica, como es el caso de los multifamiliares producidos en serie, ya que incluso en necesidades o actividades similares, la individualización del hábitat se rige por el uso y personalidad del usuario. No obstante, un parámetro que amplía la brecha entre la diversificación de modos de habitabilidad es la existencia de zonas urbanas y rurales, dicha caracterización está ligada a las actividades económicas desarrolladas en un territorio, mismas que pueden de alguna forma clasificar los modos de vida regionales a ciertas necesidades de ocupación como búsqueda del bienestar.

1.4. Adaptabilidad humana al clima, la búsqueda del equilibrio y el bienestar

El bienestar entendido en función de una condición arquitectónica se relaciona con la palabra de origen francófono *confort*, la cual es implementada en diversos textos especializados en el tema y se refiere “al bienestar o comodidad material” (Real Academia Española, 2019). De esta manera, la importancia de las condiciones *confortables* se vinculan con aspectos ambientales que pueden repercutir a su vez en la percepción psicológica, existiendo así una influencia directa entre el clima y el hábitat, Castejón (1983, p.1), refiere que:

“La primera condición que debe cumplirse para que una situación pueda ser confortable es que se satisfaga la ecuación del balance térmico; en otras palabras, es necesario que los mecanismos fisiológicos de la termorregulación sean capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación del mismo”.

Espinosa y Cortés (2015), definen a las sensaciones de bienestar en el hábitat como las condiciones ambientales propicias para que el ser humano desarrolle sus actividades sin molestias fisiológicas. Resulta importante el énfasis que diversos autores hacen en relación al *confort* como una condición que permite el correcto funcionamiento del organismo humano, precepto que ha sido una constante, ya que Vitrubio (1995, p.38) como uno de los primeros tratadistas del pensamiento occidental planteó que:

“...cuando el calor sobrepasa los límites naturales destruye y disuelve con su ardor los otros elementos naturales; tales anomalías son también una consecuencia de un clima férvido, en algunas partes concretas: el calor afecta a las venas superficiales con más intensidad de la que puede soportar el cuerpo, de acuerdo a su temperatura natural”.

De igual manera, pero bajo los argumentos propios de la evolución científica Fernández (1994, p.110) refiere de manera similar a Vitrubio que:

“El cuerpo humano tiene internamente una temperatura que varía entre 36.5° y 37°C. El equilibrio térmico del cuerpo consiste en mantener la temperatura dentro de esos rangos: si la temperatura aumenta o disminuye puede provocar lesiones graves, de tal modo que

entre 40 y 45 grados se producen complicaciones de circulación y por encima de 41-42 puede llegar al estado de coma o colapso total”.

Bajo estos planteamientos se entiende que la mala planeación en los espacios arquitectónicos en cuanto a ventilación, orientación, distribución espacial, integración al contexto, influyen de manera negativa en la calidad de vida de los usuarios. Una definición para la presente investigación es que el bienestar o *confort* es una condición donde ser humano y espacio entran equilibrio con el ambiente circundante, resultando primordial optimizar las condiciones que permitan sentir agradable al ser humano, tanto biológica como socialmente. Así, un espacio optimizado para la habitabilidad debe cumplir con características materiales y de diseño, que faciliten el bienestar y comodidad para el desarrollo de diversas actividades, señalando que estas pueden ser innumerables y que en el sentido biológico, cada organismo humano responde de forma distinta a su adecuación con el ambiente.

Siendo la sensibilidad térmica una de las condiciones de *bienestar* que más incide en la calidad de vida de los seres humanos, se puede determinar que una correcta regulación de temperatura en los espacios arquitectónicos, resulta fundamental para mejorar las condiciones de habitabilidad y de calidad de vida en los usuarios del espacio arquitectónico. Además de factores como el diseño y materialidad de los espacios, es determinante la ocupación que el usuario da de los mismos, existiendo entonces, una adaptación particular del usuario que no responde a las condiciones originales del diseño y que incrementa las variables a considerar hacia la medición de índices del confort, en este caso térmico.

Partiendo del concepto donde todo objeto habitable se constituye como un ente necesario para brindar protección al ser humano ante agentes externos que perjudiquen su sensación de bienestar y lo conlleven a problemas de salud, es inherente que el ser humano acondicione sus lugares de descanso, trabajo, esparcimiento, etc., de acuerdo las actividades que en el realiza. Por esta situación, la medición del equilibrio y satisfacción del usuario con el espacio se llega a convertir en una condición compleja para englobar dentro de determinados parámetros, mismos que tienden hacia valores inestables y no repetitivos considerando que cada organismo vivo responde a determinadas condiciones metabólicas que lo distinguen de otro, inclusive un mismo organismo puede responder de diferente forma a un espacio en dos días diferentes.

Ante esta situación, se debe mencionar que la relación entre la envolvente arquitectónica y el organismo humano es una circunstancia a la cual se le ha denominado como *confort*, cuya palabra es de origen francófono y refiere “al bienestar o comodidad material” (Real Academia Española, 2019). Tornero et al. (2006, p.147) señalan que “es un término preciso y ambiguo a la vez. Casi todos los autores coinciden en que hace referencia a una situación de bienestar, pero precisamente esa amplitud de la definición dificulta su precisión científica”. De esta manera, uno de los primeros fundamentos que dieron origen al estudio del *confort* se vincula con la sensación perceptiva del clima en los espacios Mayorga (2001, p.19) refiere que:

“Es Lavoisier quien vislumbró que la incomodidad dentro de los espacios cerrados no se debía como entonces se creía, a la composición química del aire que se estaba “usando”, es decir, la incomodidad se debía principalmente al calentamiento del aire que es un proceso físico y no a la acumulación de CO₂ por su uso”.

Es importante comprender que esta conceptualización concibe al aire como unidad dinámica y que como elemento compuesto de materia en estado gaseoso principalmente, es capaz de transferir o perder calor como cualquier cuerpo sólido a partir de las reacciones moleculares que tiene al entrar en contacto con la materia. Motivo por el cual, aspectos que inciden en el *confort*, no solamente son las que se relacionan directamente con el clima local, sino también actividades de elementos bióticos o mecanizados inciden en la ganancia o pérdida térmica, de la misma manera en que la ventilación del local permite el flujo térmico entre ambientes interiores y exteriores. Así, Castejón (1983, p.1), señala que:

“La primera condición que debe cumplirse para que una situación pueda ser confortable es que se satisfaga la ecuación del balance térmico; en otras palabras, es necesario que los mecanismos fisiológicos de la termorregulación sean capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación del mismo”.

Ante ello, se puede señalar que aunque la sensación de *confort* de un ambiente está conectada a la temperatura del local, el bienestar humano depende de la situación biológica en que el individuo se adapta al ambiente circundante. En relación a esta consideración, la *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.* (2010 p.4) define al *confort* como “una condición mental en la que un individuo percibe el medio ambiente

donde se encuentra, condición que puede variar en un lapso de tiempo y está determinada por el metabolismo, aislamiento de la ropa, temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y humedad". Por lo tanto, el *comfort* se puede contemplar como una sensación individual a nivel neurológico y metabólico que responde a aspectos ambientales como es el caso de la temperatura. Por lo que Espinosa y Cortés (2015), definen al *comfort* como las condiciones ambientales propicias para que el ser humano desarrolle sus actividades sin molestias fisiológicas.

Es por esta situación, que el desarrollo de espacios confortables es una necesidad sanitaria para cualquier tipo de desarrollo arquitectónico, aun cuando este requerimiento no esté obligado por las normas y leyes de un Estado. Como consecuencia de ello, la necesidad de soluciones habitables que contemplen ambientes confortables dignos, es una necesidad que debe ser abordada para la población de bajos recursos económicos que en la mayoría de los casos, carecen de servicios de salubridad competentes en nuestro país. Condición que históricamente ha sido solucionada mediante medios pasivos de climatización, a través de la hoy denominada arquitectura Vernácula, sin embargo, ante eventos de carácter sociológico, ella ha sido abandonada en favor de arquitecturas populares de características *transculturales*.

Esa condición repercute de manera tal, que en las viviendas que hoy en día se realizan para solventar el hábitat popular mediante la autoproducción es común observar *climatización antrópica*, es decir, aquellas acciones que realizan los usuarios para aclimatar un local de acuerdo a su rango sensorial de *comfort*. Por ello, es común observar quema de leñas u otros combustibles en interiores, para ambientes fríos o utilización de equipos mecánicos de alto consumo energético para climas cálidos. Situación que responde a las propias necesidades bióticas del ser humano, ya que ante un espacio sensitivamente caluroso surge la vasodilatación en las arterias y la deshidratación. Mientras que cuando un ambiente es sensitivamente frío, ocurre la vasoconstricción, evento que dificulta la circulación, a lo que Matías et al. (2014) suman el riesgo de Infecciones Respiratorias Agudas (IRA`s) en ambientes fríos, las cuales se clasifican enfermedades como neumonía, bronquitis, laringitis, entre otras.

Bajo estos planteamientos se comprende que una mala adecuación del ambiente habitable es negativa en la salud humana, tanto a corto, mediano, como largo plazo y aunque la aparición de estos problemas sanitarios no depende únicamente de los espacios arquitectónicos, es menester resaltar el nexo que existe entre estos conflictos y nuestra

disciplina cognitiva. Una definición para la presente investigación es que el *comfort* es una condición donde el organismo humano se encuentra en equilibrio con el ambiente circundante, en el cual pueda desarrollar de manera saludable sus actividades individuales y sociales. Para que esta situación ocurra, se pueden emplear mecanismos de climatización tanto mecánicos como los pasivos, bajo el inconveniente que los sistemas mecanizados demandan un alto consumo energético, situación por la cual, dentro de la presente investigación se propone un método pasivo sin alterar la edificación ya existente.

Y aunque generalmente, se vincula a la temperatura ambiente como el parámetro más importante en la percepción humana del bienestar, ello por la situación en que sentimos un ambiente muy frío o muy cálido y a partir de ello, modificamos nuestra vestimenta, alimentación e incluso actividad física. Otro aspecto climático a tener en cuenta en la percepción sensorial del ambiente en relación con nuestro cuerpo es la humedad, ella es resultado de la evaporación del agua y cuya saturación en la atmosfera incide en el ascenso o descenso de la temperatura del aire.

Así, la percepción de *comfort* involucra a la sensación térmica y de humedad como elementos ambientales, mencionando que esta última tampoco proviene en su totalidad de la atmósfera y al igual que el calor, influyen los organismos vivos que están en constante intercambio de humedad con el ambiente a partir de la respiración y la evaporación a través de la piel (Batier, 2016).

Cabe mencionar, que la incidencia de humedad en edificaciones por factores ambientales compromete el resguardo del usuario ante agentes externos (principalmente bióticos), pero también, la mala solución de este factor es responsable del incremento en el consumo energético por la necesidad de utilizar elementos de acondicionamiento artificial. Se menciona que el ser humano en sus funciones biológicas es un generador de humedad, no obstante las mayores ganancias en interiores suceden por elementos externos.

Azqueta (2014, p. 63) define 5 formas de ganancia de humedad atmosférica presentes en los edificios: “humedades por infiltración, accidentales, de obra, por capilaridad y por condensación”, en consecuencia, la presencia de este factor influye no solo en la percepción climática del usuario, si no que un desbalance en los valores de este elemento implican a su vez, riesgos para el estado de conservación o manufactura de la edificación, circunstancia que

no es el eje central de la tesis, pero se refiere la consideración de este factor ambiental como elemento de detrimento en situaciones de edificaciones con valor cultural.

1.5. Medición del bienestar térmico

Al considerar que el confort es una situación que involucra de manera general a tres factores: las condiciones climáticas del ambiente exterior, las cualidades tanto materiales como compositivas de la envolvente arquitectónica y al usuario como organismo vivo. Se puede referir que, la percepción confortable del usuario no se relaciona directamente con la temperatura existente en un local, sino como el equilibrio térmico en el cual el cuerpo del individuo no experimente ganancias o pérdidas térmicas, que le generen insatisfacción a un rango *neutral* de confort (*figura 4*).

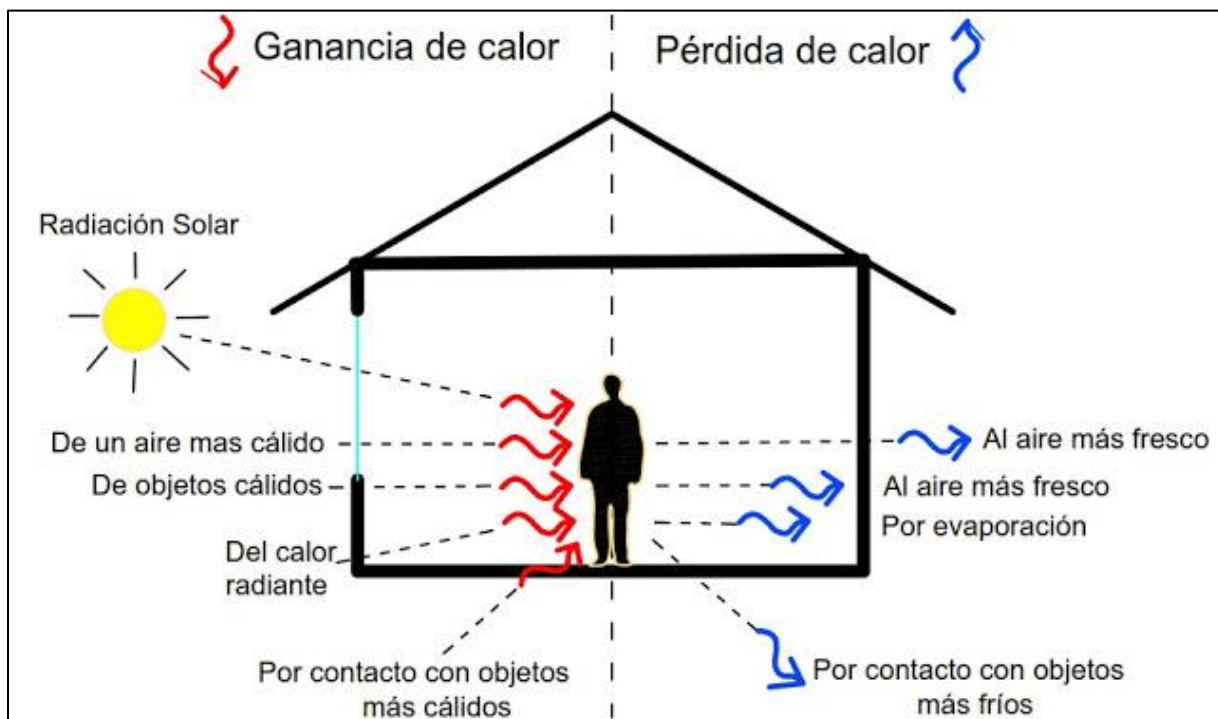


Figura 4. El confort térmico está vinculado al equilibrio o rango neutral entre las ganancias y pérdidas de calor, en la imagen se ejemplifican de manera general las ganancias y pérdidas energéticas en una envolvente arquitectónica, sin considerar las afecciones indirectas por el uso del espacio y las acciones metabólicas de los organismos vivos.

Fuente: <http://alternativarenovable.blogspot.com/2016/12/confort-termico.html>

Consulta: 02/08/2020

Por ello, los rangos del confort dependen tanto de las características ambientales de un espacio como de las características de actividad y metabolismo del usuario, por lo tanto, la medición del mismo puede considerarse subjetiva en tanto los valores asignados o analizados cambien conforme a su predicción, por lo que los datos obtenidos de una simulación virtual y los presentes en campo tienen cierto rango de variabilidad, es decir, durante el análisis o cálculo del valor de confort es difícil predecir las acciones que ejercerá el usuario sobre su ambiente, ya que puede ventilar el espacio naturalmente, cambiar su tipo de ropa, realizar una tarea física, accionar maquinaria, etc., y todo ello en diferentes variables, las cuales complican calcular con exactitud los rangos de confort con los que operará un espacio.

No obstante, la búsqueda de regular la sensación térmica para tener ambientes interiores saludables, ha dado origen a estudios científicos especializados sobre el *confort térmico*, dentro del cual, hoy en día destacan dos implementaciones para su análisis, la metodología de análisis estático y térmico adaptativo. La primera responde al análisis más utilizado para la medición del confort mediante el denominado Método de Fanger, mismo en el que se basan las normativas internacionales para el análisis y medición de parámetros de confort en locales interiores, mientras que la segunda metodología, parte de la idea que un espacio interior es un espacio dinámico en el cual existen variables como el intercambio de aire, flujo de personas maquinas, etc. En este documento se explican brevemente las condiciones de análisis de ambas metodologías y la justificación para implementar una de ellas.

1.5.1. Método de Fanger o modelo estático

Aunque en la actualidad existe controversia entre los diversos métodos para calcular la sensación de bienestar en los espacios arquitectónicos, ya que la sensación del usuario depende de múltiples variables y su medición resulta un tanto subjetiva, existen metodologías como el denominado Método de Fanger, mismo que se realiza mediante el cálculo de factores denominados como PMV y PPD, como PMV (*Predicted Mean Vote*) se conoce el Voto Medio Estimado y representa la sensación térmica que tendrá un grupo de personas en una escala del (-3) frío al (3) cálido. Mientras que el PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*), define el Porcentaje Estimado de Insatisfechos y tiende a pronosticar el porcentaje del grupo de personas que se sentirán lejos de la zona de confort (Hernández, 2007).

Aunque esta forma de analizar el confort resulta ser la metodología más funcional de acuerdo a su estandarización en normativas internacionales, uno de los inconvenientes es que el estudio realizado por Fanger parte del análisis predictivo del usuario a partir de una cámara térmica, así, los datos obtenidos en relación al PMV y PPD pueden verse alterados una vez que el modelo se implemente en campo, ello porque el objeto arquitectónico no es un elemento estático en el periodo del tiempo de uso, es decir, flujos de aire, actividades y ocupación son variables que cambian en todo momento.

Es debido a la variabilidad mencionada que se han establecido diversas normas donde se establecen métricas específicas para cuantificar el bienestar térmico del usuario al interior de los espacios arquitectónicos, tales como la ISO 7730:2005, ASHRAE 55:2017 y de manera particular, en México se encuentra aún en desarrollo la NMX-C-7730-ONNCCE-2018. Asimismo, en un apartado de esta investigación se hace referencia a la NTP 501, Ambiente térmico: inconfort térmico local, para referenciar algunas características del usuario en los locales arquitectónicos. Esta es una norma establecida por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo por parte del gobierno español y se enfoca a entornos laborales, no obstante en el apartado dirigido a bienestar general que se enfoca a la evaluación del PMV y el PPD, en donde se muestra una gráfica auxiliar para determinar la temperatura operativa (t_o) óptima de un local respecto a los valores metabólicos, de actividad y vestimenta del usuario, misma que puede implementarse en el análisis de entornos residenciales.

1.5.2. Modelo térmico adaptativo

Como ente vivo, el ser humano se encuentra en constante interacción con su entorno, respira, transpira, realiza diversas actividades y muchas de ellas son reflejo de la buena o mala adaptabilidad con este medio. Del mismo modo, difícilmente un organismo vivo responderá de la misma manera en su adaptación al medio que otro, por esta situación, se debe entender que una envolvente arquitectónica es manipulada de acuerdo a las necesidades de adaptabilidad térmica por el usuario según sus necesidades personales, por lo que acciones como apertura o cierre de puertas, ventanas e incluso uso de sistemas mecánicos de acondicionamiento térmico conocido como *Heating Ventilation Air Conditioning (HVAC)*, son comunes de encontrar en el uso arquitectónico de diversas edificaciones.

Acorde a esta situación, el modelo térmico adaptativo representa una metodología más pertinente para aplicar a aquellas edificaciones cuya ambientación es realizada por el usuario y en donde no se condiciona la existencia de un sistema HVAC para la climatización. A causa de esta circunstancia, resulta más favorable analizar mediante esta metodología elementos arquitectónicos cuyo uso puede variar, para lo cual, se tomara como parámetro la normativa de la *American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers* (ASHAE) en la denominada Estándar 55.

1.6. Acondicionamiento pasivo del hábitat y alternativas sostenibles

El vínculo entre la vivienda humana y la sostenibilidad es una situación presente desde los comienzos de las primeras expresiones del hábitat sedentario, esta relación es consecuente de las necesidades de abastecimiento de recursos para la subsistencia individual y colectiva en los grupos poblacionales, por lo que es común encontrar vestigios arqueológicos que datan de civilizaciones que adecuaron sus estructuras arquitectónicas al medio ambiente. De igual manera, la adecuación arquitectónica al medio permitía aprovechar los recursos disponibles en la ubicación geográfica para mejorar las capacidades de bienestar al ocupar los espacios.

Cabe mencionar que diversas expresiones arquitectónicas y urbanas del pasado se relacionan con el uso de materiales locales que a través de la experiencia, permitieron mejorar las condiciones de temperatura, aprovechamiento luz solar, ventilaciones, agua pluvial, etc. Bajo estas condiciones se establecieron diversas manifestaciones del hábitat, en parte porque el control de los medios de subsistencia requería de un costo elevado en cuanto a capital humano y de tiempo, situación que obligaba a administrar de mejor manera los recursos naturales.

No obstante, una vez que comienza el dominio de determinados grupos poblacionales sobre otros, los medios de subsistencia comienzan a ser controlados por determinadas civilizaciones, como consecuencia de ello, se manifiestan desequilibrios en el balance ambiental que se había creado a la par del crecimiento de las culturas. Por consecuente, la sobreexplotación de recursos impulsada también por procesos colonizadores o de dominación, no llega a ser tan desfavorable al medio ambiente como el manifestado a partir del gran impulso industrial que se da a partir del siglo XVIII, mismo que supone un gran cambio en el desarrollo

de las civilizaciones humanas, ya que a partir de este periodo, los roles y actividades económicas del ser humano promedio, pasan del trabajo y dependencia de la tierra y su cultivo, para convertirse en un ente operador de las maquinas, siendo a partir de este evento histórico, un engranaje más en un sistema tecnificado (von Bertalanffy, 1976).

Así, tras la evolución de los sistemas industriales, la segunda mitad del siglo XX significó un crecimiento demográfico sin precedentes donde gran parte de la población mundial reside en zonas urbanas, por tal motivo, la amplia demanda de vivienda e insumos para la subsistencia se ve acotada como nunca antes al existir una mayor sobreexplotación y consumo de los recursos, mismos que cada día se ven más reducidos por su agotamiento, contaminación, sistema económico y el cambio climático global. Ante esta circunstancia diversas organizaciones internacionales han planteado una postura sobre este fenómeno y cuyo margen de solución solo puede ser a través del desarrollo sostenible.

Como tal, uno de los referentes conceptuales parte del informe de Brundtland en 1987 y citado en el Serafi (1994, p. 107) menciona que el Desarrollo Sostenible es aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Gómez, 2014, p. 132), de allí que exista una relación común en diversas investigaciones donde al concepto de sostenibilidad se le vincula con la preservación ambiental. No obstante, existe el conflicto conceptual entre lo que también se denomina el desarrollo sustentable, mismo que por varios teóricos se vincula al desarrollo económico favorable toda la población con el respeto del medio ambiente, ante esta circunstancia, ambos conceptos, tanto sostenible como sustentable, llegan a estar ligados a la preservación ambiental bajo una conceptualización que aún se encuentra en construcción (Zarta, 2018) y que en muchas circunstancias, llegan a tener el mismo significado.

Por esta razón, para el caso de la presente investigación, se tomará en cuenta la palabra sostenible, dado que bajo diversa literatura existe un enfoque sistémico de su conceptualización (Gallopín, 2003) que la vincula con una serie de factores relacionados al ser humano y su entorno. Así, la vivienda y su producción, utilización y demolición puede quedar plenamente inmersa dentro de un enfoque sustentable, en el cual funcione como un objeto equilibrado entre las necesidades ambientales y del sujeto.

El acondicionamiento de locales arquitectónicos mediante equipos mecanizados es una alternativa implementada para edificios que requieren en muchos casos, aislamiento total de la envolvente a filtraciones de aire exterior. Como solución de climatización, tiene unos altos gastos económicos para su operación y mantenimiento, aun cuando actualmente existen equipos en el mercado que reducen el consumo energético. Del mismo modo, gases refrigerantes utilizados en el pasado por estos mecanismos son dañinos para la capa de ozono (Villamil y Paimba, 2005), problemática que se ha revertido con el empleo de otros compuestos refrigerantes, pero cuyos riesgos al ambiente o a la salud humana puede que aún sean desconocidos.

No obstante, la variable del costo económico es uno de los inconvenientes para utilizar sistemas mecanizados de climatización en vivienda, también lo es la espacialidad volumétrica, ya que la instalación de ductos implica una reducción total del volumen ocupado en las viviendas, principalmente en las dimensiones verticales, mismas que son reducidas para ejecutar estas soluciones. No obstante, en la actualidad existen ofertas en el mercado de bajo costo, como los llamados *minisplits*⁹, el accionar de ellos está supeditado a la corriente eléctrica y por consecuencia, la ambientación genera un gasto extra en el consumo energético de operación.

Como consecuencia, las soluciones de climatización pasiva responden a prácticas menos invasivas de acondicionamiento para aquellas edificaciones ya existentes, es por ello que su aplicación resulta una solución de menores costos e impacto ambiental, dado que en su contraparte de diseño bioclimático, no se replantea la configuración de los locales, así como demoliciones y reconstrucción de los mismos. Ahora bien, la aplicación de sistemas de aislamiento térmico por lo general no requiere de mano de obra calificada, dado que son soluciones de montaje realizadas de manera tal que se facilite su colocación en obra, lo que abarata el tema de los tiempos de ejecución.

Al señalar que toda la materia posee cualidades físicas por las que es susceptible a la transferencia térmica, los materiales empleados en una edificación determinan la capacidad de

⁹ Un sistema Minisplit es un sistema de acondicionamiento de aire, donde el sistema de condensación (expulsión de calor) queda al exterior y la evaporadora (suministro de frío) queda al interior del espacio arquitectónico.

*transmisión*¹⁰ de esta energía calorífica, sea mediante convección, conducción o radiación. De tal modo que esta capacidad está fijada por su estructura molecular y de la forma en que se emplean en una envolvente arquitectónica, recordando que los vanos permiten la libre circulación del aire a través de la ventilación, toda vez que la temperatura atmosférica está vinculada a otros elementos como la humedad. Como menciona Reckford (2009, p.3)

“Es posible que el calafateo y el aislamiento no sean las tareas más en demanda en un lugar de trabajo pero, de acuerdo con un estudio del gobierno de Nueva Zelanda, ellas pueden ser algunas de las tareas más importantes que podemos realizar para ayudar a que las familias propietarias sean más saludables”.

Bajo esta circunstancia, las cualidades materiales de una edificación impactan de manera directa en el aislamiento térmico de la envolvente arquitectónica, por esta relación los materiales empleados en muros, pisos, cubiertas, ventanas, puertas, etc., determinan el acondicionamiento de la vivienda ante fenómenos climáticos del medio ambiente, tanto exterior como el generado al interior por actividades antrópicas. A grandes rasgos, el aislamiento térmico o un material termoaislante, se debe entender como la capacidad que tiene un elemento material que constituye la envolvente arquitectónica para permitir el retraso térmico de un lado de su cara a la otra.

a) Conductividad térmica.- “Dentro de las propiedades físicas está la conductividad térmica (k), que indica la cantidad de calor (energía térmica) que pasa entre dos puntos dentro del material por unidad de área, de tiempo y gradiente de temperatura” (Peña et al., 2014, p.16). Es decir, que la conductividad es la capacidad que la energía calorífica tiene para traspasar de una cara hacia la otra de un material, asimismo, se considera que entre menor sea la conductividad térmica mayor será la capacidad “aislante” que tendrá el material y viceversa. En este sentido, la conductividad térmica se relaciona como energía disipada en joules, sobre una unidad de tiempo, que en este caso son los segundos, en cada unidad de longitud de material (metros), por cada unidad de cambio de temperatura entre un punto y otro del material (K).

¹⁰ Como capacidad transmisión de energía calorífica se define al fenómeno físico en que un cuerpo puede pasar el calor del cuerpo con mayor carga de energía calorífica (cálido) al de menor carga de esta energía (frío).

- b) Resistencia térmica.-** Se define, como su nombre lo indica, a la resistencia que opone un cuerpo al flujo de calor tomando en consideración el espesor de este, en el Sistema Internacional¹¹ se expresa como $m^2.K/W$ y se calcula con la fórmula $R=e/\lambda$ (Saint-Gobain, 2012). Por lo que la resistencia térmica de un elemento arquitectónico (ΣR), ya sea muro, cubierta, ventana, pisos, losas, etc. es la suma de las resistencias térmicas de cada componente del sistema constructivo (cuyas resistencias térmicas parciales dependen del espesor del material y la conductividad térmica del mismo
- c) Transmitancia térmica.-** conocida como valor U es el “flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre dos ambientes separados por dicho elemento y se expresa en $W/(m^2.K)$ ” (Instituto Nacional de Normalización, 2007, pp.4).

A partir de estas características, todos los materiales constructivos en mayor o menor medida poseen las cualidades mencionadas, situación que establece la utilización histórica de ciertos materiales para zonas climáticas específicas y que es un patrón comúnmente observable en la hoy denominada arquitectura *vernácula*¹² o *tradicional*. Según Carrasco y Morillón (2005) para un caso de estudio realizado en el noroeste de México, se determina que la vivienda vernácula posee mejores características para el confort térmico humano que otros materiales empleados en la construcción convencional contemporánea que en este caso, representa a la vivienda de interés social.

En este sentido, aunque los materiales tradicionales representan una gran adaptabilidad al clima local en donde se utilizan, su uso no representa un sinónimo significativo de poseer mejores “cualidades térmicas” en comparación con los materiales contemporáneos, de hecho, se debe mencionar que parte de las propiedades del adobe como mal conductor térmico se deben en gran medida a que es un material con un espesor superior a los utilizados hoy en día, lo que incrementa su capacidad de resistencia térmica a partir de trabajar como un sistema de

¹¹ “El Sistema Internacional de Unidades, SI, es un sistema de unidades adoptado por la CGPM, que proporciona las unidades de referencia aprobadas internacionalmente, en función de las cuales se definen todas las demás unidades. Se recomienda su utilización en la ciencia, la tecnología, la ingeniería y el comercio” (Oficina Internacional de Pesas y Medias, 2006. p. 34).

¹² “Paul Oliver (...) asocia la expresión al origen de la palabra vernáculo. Según él, dado que este origen alude al término nativo, podría hablarse de arquitectura vernácula como “la ciencia nativa de construir” (Gómez, 2010, p.138).

masa térmica¹³, situación que lleva a describir los conceptos de *amortiguamiento* y *desfase térmico*, mismos que parten del principio de *inercia térmica*¹⁴.

Por *amortiguamiento térmico* se entiende “la diferencia que surge de la relación entre la amplitud de temperatura interior y exterior” (Cedeño, 2010, p.108), mientras que el *desfase o retraso térmico* se puede medir en tiempo y de acuerdo a Roux y Gallegos (2015, p.61) se entiende como “el tiempo transcurrido desde que la parte de calor absorbida por el muro llega a la cara opuesta”. Bajo estas referencias queda ejemplificado el principio de algunas de las manifestaciones de *vivienda vernácula* (principalmente edificadas con tierra cruda) que cuentan con grandes espesores en sus muros, ya que cuanto mayor sea el espesor de una cara (sea muro o cubierta), mayor será el tiempo de retraso y con ello, se imposibilitan valores semejantes de temperatura entre interior y exterior.

En este sentido, se considera que un mayor desfase térmico a través de un mayor periodo de tiempo permite la conservación de la temperatura interior respecto a la exterior de una edificación, por lo que empíricamente se relaciona a este fenómeno con la sensación de bienestar en interiores, ya que si un clima se percibe como frío en exteriores, en interiores se conservará la ganancia térmica y viceversa, principio que puede ser ejemplificado con los periodos de noche y día, donde la pérdida de calor ganada por la radiación solar se realiza de una manera más lenta que en un sistema que no funcione bajo este planteamiento.

Se debe mencionar que a partir del estudio de materiales y la forma en que ellos transfieren el calor, se conocen los materiales termoaislantes de la industria, en este sentido Rougeron (1977) señala que: “no existen aislantes perfectos, sino cuerpos malos conductores de calor y capaces de frenar la intensidad de un flujo térmico. Están caracterizados por un

¹³ Se puede entender como la resistencia que tiene una superficie en transferir energía calorífica de una superficie de un material hacia su cara opuesta, esto a partir del espesor que se tenga en el material, influyendo a su vez, valores propios de conductividad térmica.

¹⁴ “Existen dos tipos de inercia térmica, la inercia térmica por absorción y por transmisión, de ellas, usualmente se hace mención a la inercia por absorción, asumiendo que los materiales con mayor inercia de este tipo son los llamados “materiales pesados”, y su inercia la obtienen, supuestamente, gracias a su gran masa, sin embargo, lo anterior no es completamente cierto porque el principal factor que le otorga la característica de inercia térmica es la cantidad de superficie de este material que está en contacto con el aire al interior de la vivienda para los materiales que tienen gran densidad y calor específico, llamados materiales muy efusivos. En particular, si el material efusivo es parte de la envolvente, sólo cuando este material se encuentra ubicado en la cara interior de la envolvente, ejercerá efectos beneficiosos desde el punto de vista de la inercia térmica” (Monárdez, 2007, p.2).

coeficiente de conductividad (λ) lo más bajo posible". Bajo esta circunstancia, entender al aislamiento térmico como una condición que brinde solución total a las necesidades de habitabilidad, puede ser un precepto erróneo, ya que tanto el aislamiento como el funcionamiento de la masa térmica, son soluciones que dependen de la materialidad de la edificación, las estrategias de diseño, así como las condiciones actuales de la edificación si llegara a ser el caso.

Por otro lado, más allá de la búsqueda de soluciones bioclimáticas del hábitat, a partir del desarrollo tecnológico y desactualización de las técnicas ancestrales, se han incorporado nuevas soluciones materiales al quehacer arquitectónico cotidiano que hacen hincapié de la capacidad termoaislante y sustentable de dichos productos, por lo que es común encontrar hoy en día en el mercado, materiales con bajos niveles de conductividad térmica, costos reducidos y una sencilla instalación. Aspectos que son atractivos para la solución de diversos programas arquitectónicos, entre ellos la vivienda dirigida a sectores de bajos recursos económicos, que es uno de las principales demandas en nuestro tiempo.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, tales materiales que provienen de procesos industriales tienen el inconveniente de ser creados bajo procesos altamente contaminantes (no obstante se hagan llamar a sí mismos como sustentables), al mismo tiempo que tras ser desechados favorecen la contaminación de los ecosistemas donde se establecen estas poblaciones que en muchas ocasiones son cercanas a reservas naturales, situación a la cual se liga también la erosión de suelos y contaminación de cuerpos de agua. Al respecto, Velázquez (2015) hace una comparativa entre diferentes aislantes térmicos, donde por lo general, los materiales procesados y sintéticos tienden a ofrecer mejores cualidades termoaislantes, resistencia al vapor de agua y fuego. No obstante, sus índices de energía utilizada, efecto invernadero e impactos a la salud son negativos.

No obstante, al saber que uno de los elementos que menores índices de (λ) poseen es un gas que encuentra en la naturaleza y lo conocemos comúnmente como aire, se abre la posibilidad de que sistemas de envolvente en espacios habitables puedan ser planeados o replanteados conforme al uso de este elemento para el uso de estrategias no mecanizadas. Singh Saini (1987) menciona una relación entre la compacidad del material y su relación con la transferencia térmica, refiriendo que un material con presencia de aire, tiende a poseer un

menor valor en cuanto a conductividad térmica (λ). Concepto relacionado con la *densidad*¹⁵ del material constructivo y el valor (λ).

Por lo tanto, se puede señalar que la masa térmica funciona como una forma de retraso térmico cuando los sistemas constructivos empleados poseen una densidad poco favorable, en contraparte, el aislamiento se basa en materiales cuyo valor (λ) es mínimo, en muchas circunstancias debido a su baja densidad. Así, se puede señalar que en todas las edificaciones un déficit por aislamiento o adecuación de masa térmica, sumado a un diseño y distribuciones espaciales no favorables bioclimáticamente, conllevan a una mala sensación térmica de los usuarios, lo que se traduce en la necesidad de equipos mecánicos con alto gasto energético y económico para revertir la situación. Ante esta situación, ocupantes de viviendas cuyo poder adquisitivo es limitado, rara vez tienen accesibilidad a estas soluciones, por lo que la quema de leñas o similares para el calentamiento de los locales interiores en temporada invernal es una constante en diversas regiones de nuestro país.

1.7. Materiales sostenibles y acondicionamiento climático en el hábitat

Pensar en alternativas a las mecánicas que hoy dominan como respuesta a las necesidades de climatización de locales, es recurrir a las soluciones de la arquitectura bioclimática que también dominaron en gran medida, en las expresiones vernáculas de vivienda de muchas culturas. Hoy en día, es común que existan fuentes referenciales a la *passivhaus*¹⁶, las cuales hacen alusión a un planteamiento de diseño de los espacios para su correcta climatización, pero a su vez, del uso de materiales que sean favorables para el desarrollo de estos ambientes favorables para los usuarios. Situación en la que se puede hacer énfasis una vez que las estrategias de climatización se centran en espacios ya construidos, tal es el caso de las viviendas referenciadas en la investigación.

Los materiales arquitectónicos son aquellos con los que se compone la envolvente de una edificación, por lo que se refiere como virtud del objeto arquitectónico la protección de los usuarios ante agentes y fenómenos externos, ya que al ser constantes los efectos de la

¹⁵ “La densidad se define como la relación de la masa de un producto (por ejemplo, como si fuera pesado en el vacío) con su volumen. La unidad coherente del SI para la densidad es kg/m³” (Organización Internacional de Meteorología Legal, 2011, p.7)

¹⁶ El Passivhaus, refiere a un procedimiento donde la edificación tiene un bajo consumo energético (Crespo, 2011).

interacción con el clima y sus efectos sobre el hábitat. En este sentido los materiales actúan como capa protectora o “piel” del edificio, de su composición, no solo dependen caracteres estilísticos del edificio, sino también el control de agentes ambientales, como luz, temperatura, humedad, así como resistencia ante eventos naturales como lo son la lluvia, sismos, huracanes u otros. Es recomendable que las consideraciones a tomar en cuenta en el uso de materiales se prevean desde la fase proyectual de la envolvente, misma que a partir de la elección de materiales que la constituyen, se den las pautas para la ambientación pasiva de los espacios, por lo que la regulación de las condiciones de confort humano y ahorro energético se beneficien por estas estrategias.

No obstante, ante la creciente oferta de insumos para la construcción, que facilitan la accesibilidad económica de la aplicación de los mismos (por reducción de tiempos de ejecución) de algunos de los productos derivados del concreto, han hecho que este material sea ampliamente implementado en la vivienda popular mexicana. Por lo cual, sumado a una falta de asesoría especializada en el tema, se ha desvirtuado al hábitat en búsqueda de una sensación térmica agradable, en favor de una edificación con resistencia ante fenómenos naturales y de bajo costo. De esta forma, el desarrollo de la vivienda popular tiende a oponerse a adaptación ambiental, adecuación climática de interiores y sanidad de los espacios, no obstante existan materiales de manufactura industrial que se denominen como *eco-friendly*¹⁷.

Por ello la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) mediante el Código de Edificación de Vivienda, refiere un apartado donde se clasifican los materiales naturales, para los cuales se recomienda la procedencia regional de los mismos, además de poseer buenas cualidades térmicas y acústicas, a la vez de no contener sustancias tóxicas o que puedan ser potenciales generadores de desperdicios sólidos con degradación prolongada en el tiempo (CONAVI,2017). Bajo esta consideración, los materiales utilizados en sistemas tradicionales son los que más cumplen con estas características, pero aunque una solución lógica se puede dirigir hacia el rescate y construcción con este tipo de materiales, este planteamiento llega a ser poco viable debido a posturas y costumbres sociales en cuanto a formas de edificación de la vivienda en nuestro país, una vez que ya existe una migración hacia sistemas industrializados.

“La experiencia ha demostrado que no resulta fácil cambiar el sistema de construcción de los edificios y de gestionar su funcionamiento. Para ello debe romperse con la rutina y los

¹⁷ Anglismo que se interpreta como amigable con el ambiente.

hábitos adquiridos por décadas por el actual sistema de construcción que no ha tenido en cuenta el papel finito de los recursos naturales” (Ramírez, 2002, p.30).

Dadas estas condiciones, y al recordar que el ambiente interior manifestado en estructuras contemporáneas que albergan viviendas no llega a ofrecer las condiciones necesarias para el confort humano, el aislamiento convencional en base a espuma de poliuretano, poliestireno extruido y expandido, entre otros, puede ser una solución hasta cierto punto accesible para este tipo de edificaciones ya existentes. Sin embargo, estos materiales provienen de procesos que requieren extracción de materia bruta, procesamiento industrial trasladados al punto de venta y lugar donde se ubica la construcción, además que la degradación en el ambiente después de su uso final puede tardar años o siglos.

Es así, que los residuos de construcción, dado su alto volumen de generación y costumbres sociales, complican su manejo correcto para el deshecho o reaprovechamiento, por lo que se han convertido en un problema de contaminación a lo largo del territorio nacional. Como referencia, en el caso de la Ciudad de México, donde sí se ha llevado a cabo un registro de los desperdicios sólidos de construcción, se contabilizó una superficie afectada aproximada de 1,349,357.7m² por este tipo de residuos (Procuraduría Ambiental y Ordenamiento Territorial, 2010). Lamentablemente, no existen hasta la fecha registros de otras localidades del territorio nacional, no obstante, es una constante observar tiraderos clandestinos en zonas rurales donde estos materiales se combinan con otros desechos.

A parte de los aspectos negativos que el concreto tiene en este rubro, otro de los materiales empleados en la construcción y en el aislamiento térmico de edificaciones es el poliestireno expandido, mismo que tiene el inconveniente de ser un producto de difícil degradación, al mismo tiempo que posee la cualidad de ocupar amplios volúmenes para su almacenamiento (lo que incluye deshecho). Asimismo, se ha encontrado evidencia científica de que materiales utilizados en la construcción y el aislamiento como es el caso del estireno, son potencialmente cancerígenos, ya que su exposición humana se tiene a través de la inhalación, ingestión de agua contaminada con él e incluso en menor rango por contacto con la piel (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2020).

De esta manera, las soluciones materiales vernáculas pueden representar aparte de mayor integración con el medio ambiente, soluciones tóxicamente menos peligrosas a los

organismos vivos, así como también, responden a una menor cantidad de consumo energético en su producción y con ello, de emisiones de GEI a la atmósfera. Como referencia, se menciona que en el año 2017 en México se registró un consumo de 13.18 Petajoules¹⁸ empleados en la industria de la construcción, los cuales engloban traslados y procesos operativos en obra, no obstante, como industria específica se consumieron 175.34 Petajoules en la fabricación de cemento y otros 248.05 Petajoules en la elaboración de acero (Secretaría de Energía, 2018, p.40), el procesamiento de estos dos materiales representa la fabricación de los productos más requeridos para la elaboración de concreto armado.

Por otra parte, el mismo informe no engloba todos los materiales e insumos utilizados en la construcción, por lo que de manera general se refiere la ocupación de 51.15 Petajoules para la industria del vidrio y 10.43 para productos de hule o plásticos (Secretaría de Energía, 2018, p.40). Estos rangos son señalados como industria total y se tendría que considerar que engloba productos ajenos a la edificación, como botellas, diversos utensilios, herramientas, aparatos electrónicos, etc. Sin embargo, se debe resaltar que en específico la industria del hule o plásticos también procesa diversos productos termoaislantes, e incluso impermeabilizantes o acabados arquitectónicos.

Aunque los indicadores señalados no clasifican el gasto por m² en una vivienda convencional, sirven como referente energético de los gastos totales en industrias que operan en nuestro país, lo que permite conocer el impacto ecológico que se tiene al depender de materiales que son transformados y comercializados a través de ellas. Asimismo, se refiere que las viviendas con materiales tradicionales como el adobe poseen un mayor ahorro energético durante el proceso de la obra, no así, en su disposición final ya que contribuyen a una alta generación de desechos (Güereca et al. ,2016).

En este planteamiento, también se debe considerar que en la mayoría de los casos, la vivienda tradicional es construida en base al conocimiento empírico de las técnicas, no obstante la arquitectura vernácula posee la característica de acondicionamiento pasivo con el medio, son comunes las deficiencias en los procesos de ejecución, resultando como ejemplo más común en los sistemas tradicionales, encontrar adobes realizados con suelos arenosos, o combinación de materiales y sistemas incompatibles. Situación que provoca la deficiencia de sistemas

¹⁸ Unidad que indica la cantidad de 10¹⁵ Joules para cuantificar energía.

tradicionales en comparativa con los materiales industriales en el largo plazo y con ello, la mala interpretación de su eficiencia.

1.8. La tierra cruda como material sostenible

Al considerarlo como uno de los primeros elementos con que se realizaron las primeras edificaciones, la Arquitectura en tierra cruda (o simplemente como Arquitectura en tierra), es la denominación que se le ha asignado a todo tipo de edificaciones cuyo material constitutivo sea primordialmente el suelo. Es decir, el suelo como materia prima local es utilizado de acuerdo a sus propiedades físicas, el mismo puede percibirse como muy plástico (alto en arcillas) o por el contrario, con poca cohesión (arenoso). No obstante Gatti (2012, p.10) señala que:

“A la hora de hacer construcciones con tierra no todos los tipos de tierra son adecuados para construir, por lo tanto, se debe seleccionar la tierra adecuada para cada técnica constructiva. Para empezar uno de los requerimientos básicos es que la tierra no contenga humus, es decir, aquella primera capa de tierra que contiene materiales orgánicos, hongos, raíces, bacterias, etc. El material utilizado debe tener una composición determinada para poder aprovechar correctamente sus propiedades. Se deberá vigilar con las proporciones de grava, arcilla, arena y limos que tiene la tierra, para obtener las características plásticas idóneas y la utilización o no utilización de estabilizantes (paja, cal, cemento)”.

Las técnicas constructivas en tierra cruda han sido desarrolladas históricamente por casi todas las culturas del mundo; es por tal razón, que existe una variedad de aplicaciones de este material, sea en muros estructurales, muros secundarios a una estructura principal, cubiertas, pisos y acabados arquitectónicos. Siendo quizás, las técnicas del adobe, barro apilado o *cob*, bahareque, y el tapial, las que más se han repetido en diferentes culturas. Estas técnicas constructivas han sido desplazadas y olvidadas en muchos pueblos del mundo, tras la invención de materiales y prefabricados industriales, influyendo en muchos casos, el fenómeno sociológico en la búsqueda del ideal de modernidad, lo que ha llevado, al olvido, falta de tecnificación y normatividad aplicable en nuestro país hacia la construcción con tierra.

No obstante, ante las crisis ambientales y económicas que comienzan a repercutir de manera global en este siglo XXI, la búsqueda de materiales constructivos más sostenibles han llevado a redescubrir los materiales ancestrales como la tierra cruda, la cual, ha sido objeto de investigación científica en fechas recientes, no solamente dentro del ámbito de la conservación patrimonial, sino también, como alternativa material en las construcciones contemporáneas, siendo el ámbito rural, donde mayormente se ve aplicada.

Cabe señalar que a la tierra como material de construcción también se le conoce como construcción con barro y este “es un material plástico al contacto con el agua” (Minke, 2005, p.86), no obstante técnicas con tierra compactada utilizan materiales más arenosos y con menor cantidad de agua en sus procesos de elaboración. Las arcillas son el elemento de mayor relevancia en la constitución física de una muestra de tierra, ya que funcionan como elemento aglutinante. “De acuerdo a su composición mineral, las arcillas se agrupan en tres grupos: caolinta, ilita –que es menos común encontrarla- y montmorillonita que son arcillas que se expanden y contraen” (Juárez y Rico, 2008, p. 30). Respecto a los otros componentes (limos, arenas, gravas), ellos representan una composición diferente a las arcillas, y trabajan únicamente como agregados al carecer de características aglutinantes.

Existen maneras de incrementar la cohesión entre las partículas de barros menos arcillosos, sea por medio de la compensación de agregados faltantes o mediante la estabilización, ella se refiere a: “El mejoramiento de los suelos (...), tales como la resistencia al esfuerzo cortante, la deformabilidad o compresibilidad, la estabilidad volumétrica ante la presencia de agua, entre otros” (Garnica et al., 2012, p. VII). Cabe señalar, que la compactación disminuye la retracción y aumenta el equilibrio hídrico para otras técnicas en tierra cruda, como la Tierra Vertida Compactada, asociándose también la estabilización de la tierra mediante cal o puzolanas, según un estudio sobre el comportamiento de la tierra en esta técnica (Guerrero y Soria, 2016, p.144).

Sin embargo, la estabilización de la tierra cruda también se ha demostrado mediante derivados naturales como los biopolímeros, específicamente para el caso de los revocos (Vissac, et al., 2017). Por tal motivo, se puede considerar la estabilización de una muestra de suelo mediante la utilización de materiales con procedencia mineral o biológica para las técnicas en tierra cruda, siendo posible la adición de fibras vegetales y compactación. Debe señalarse que la flexibilidad de estabilización del suelo como material constructivo sostenible,

está en función de buscar los mínimos niveles de consumo energético y producción de GEI durante su obtención, transformación, traslado, aplicación en sitio y deshecho.

1.9. Soluciones de acondicionamiento térmico con tierra cruda

Si bien, una de las características de las envolventes arquitectónicas es que la mayor pérdida y ganancia de energía calorífica sucede en las cubiertas, se tiene que los sistemas constructivos en tierra básicamente se han implementado en muros, salvo las cubiertas que cuentan con terraplenes que incrementan el peso de las mismas. En estas circunstancias, la dirección de la investigación se centrará en la problemática de conductividad en muros de la vivienda, no exceptuando los problemas existentes en el tipo de cubiertas que más adelante se mencionarán, pero el estudio se basa en tipologías y comportamiento de sistemas contemporáneos haciendo referencia a sistemas de construcción vernácula.

Asimismo, se menciona esta decisión ya que actualmente es complicado obtener datos de registros físicos de la constitución de muros antiguos, problemática que se acentúa más en los registros de cubiertas originales y cuyas edificaciones actualmente existentes poseen cubierta metálica o de asbesto. Se señala que este tipo de “cubiertas contemporáneas” sustituyeron a los sistemas originarios dado su bajo costo de montaje y adquisición, así como la reducción de tiempos de manufactura y puesta en obra, situación que es una constante en la discontinuación de sistemas tradicionales, independientemente de la parte de la envolvente en la que se ubiquen, por lo tanto, se percibe que la conservación y mantenimiento de este tipo de elementos arquitectónicos llega a ser insolvente económicamente para la población con menor poder adquisitivo.

Por otro lado, respecto a las técnicas en muros con tierra cruda, se debe recordar que aun cuando la materia prima o suelo local determine la mejor aplicación de determinada técnica, existen diversos elementos que pueden agregarse y de alguna forma estabilizar su estructura física al ser aplicada. Para ello, se debe mencionar que las diversas clasificaciones de los sistemas constructivos en tierra refieren su aprovechamiento desde la materia prima, clasificando de acuerdo al predominio de su granulometría (arenas o arcillas), pero también, de acuerdo al estado de su aplicación en obra (húmedo, seco e incluso líquido).

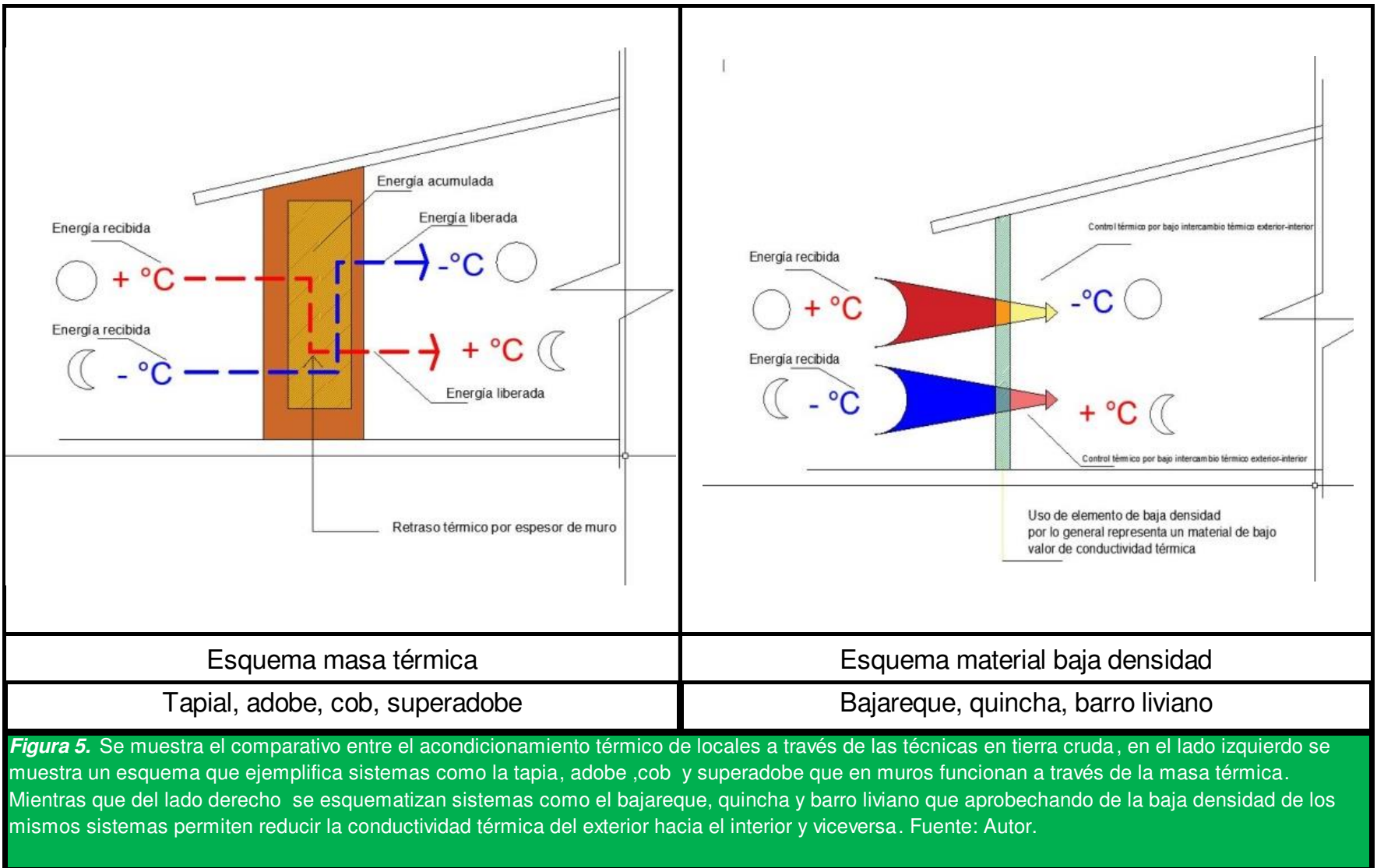
La *tabla 1* adaptada de (Hernández, 2016, p.14) muestra una clasificación general de los sistemas constructivos en tierra cruda sin tomar en cuenta procesos posteriores de estabilización o compensación, ella se centra principalmente en su aprovechamiento a partir del estado en que se encuentre para su manipulación en obra, asimismo, en la parte externa de la circunferencia se menciona la acción humana para la aplicación de las técnicas. Asimismo se pueden observar las diversas técnicas de construcción en tierra de acuerdo al manejo de la misma para su montaje en obra, siendo el estado de manufactura en seco, el que es implementado para aquellas viviendas construidas realizando excavaciones en el suelo mismo e inclusive la técnica conocida como superadobe no señalado en la gráfica. De manera general, y en relación a la granulometría del material empleado se pueden relacionar los grupos anteriores de la siguiente manera:

Tabla 1				
Clasificación de técnicas de construcción en tierra cruda según su aplicación				
Estado físico de aplicación	Porcentaje de agua	Tipo de muro	Acción	Técnica
Seco	0-5%	Monolítico	Verter, apilar	Superadobe
Humedo	5-20%	Albañilería	Comprimir	Bloque de Tierra Comprimida
		Monolítico	Comprimir	Tapia
		Monolítico	Conformar	Tierra Vertida Compactada
Plástico	10-30%	Monolítico	Apilar	Cob
		Albañilería	Moldear	Adobe
Viscoso	15-35%	Monolítico	Revestir	Bajarque o bahareque, Quincha
Líquido	>35%	Monolítico	Verter	Barro Liviano
		Monolítico	Revestir	Barro Liviano o Tierra Aligerada

Las técnicas en tierra cruda se pueden clasificar de acuerdo a su estado físico de aplicación, así como la técnica implementada. Tabla realizada por el autor, adaptada de Hernández (2016, p.14), disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/107822/tfg_josune%20hernandez.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consulta: 02/08/2020

De esta manera, las técnicas de construcción para muros en tierra cruda se pueden clasificar de acuerdo a la dosificación porcentual de agua en la mezcla y su relación con el estado físico de aplicación. Cabe mencionar que no todas las técnicas de manufactura de muro son idénticas, de allí la importancia de saber los recursos materiales y humanos con los que se puede contar en sitio para la aplicación, a la par de las necesidades de respuesta mecánica a las cuales estará expuesta la edificación, en la tabla anterior se clasifican tipos de muro y la acción para ejecutar el muro que da como resultado una serie de técnicas, que si bien no son todas las existentes, son las más conocidas.

Se debe señalar que cada una de estas técnicas implementadas con tierra cruda se adaptan de diferente manera a su entorno, por lo que la respuesta térmica es un factor para así



determinar la elección de la construcción a ejecutar. De manera general, la *figura 5* muestra una perspectiva del funcionamiento de las técnicas constructivas en tierra cruda a partir del estado material en el cual se manipulan para su puesta en obra y la forma en que trabajan para climatizar los espacios interiores, respecto al exterior de la envolvente arquitectónica. En este sentido, se pueden observar dos formas en que se puede utilizar la tierra cruda tanto material constructivo y técnica de climatización pasiva de locales habitables, siendo el uso de la masa térmica el comúnmente implementado por las viviendas vernáculas de la región central de México de acuerdo a las condiciones de climas templados predominante a lo largo del año. No obstante, la necesidad de grandes volúmenes de materia prima obtenida del suelo para la elaboración, dificultan la manufactura y continuidad de la tradición en la elaboración de este tipo de arquitecturas, por lo que hoy en día pueden resultar construcciones de manufactura costosa.

Por otro lado, la implementación de materiales de baja densidad en cuanto a su peso volumétrico (pajas, fibras o materiales sintéticos como el EPS), se relaciona con una reducción en los valores de conductividad térmica de los mismos. Aunado a ello, la disminución de material requerido del suelo respecto a los sistemas que funcionan a partir de masa térmica son una condición que puede reducir los costos de ejecución de este tipo de sistemas, ello aunado a que comúnmente los muros no comprometen la seguridad estructural de la edificación, ya que existe una estructura principal.

Conclusiones de capítulo

El clima se conforma por la composición de factores y elementos que provienen tanto de elementos atmosféricos, como geográficos y pueden ser medibles o constantes en largos periodos de tiempo, superiores a una década preferentemente. Asimismo, aunque nuestro planeta tiende al calentamiento propio por su composición física, las acciones humanas a partir de la industrialización han acelerado ese proceso mediante la emanación de GEI. Por consecuencia, el calentamiento global ha incrementado variaciones en el clima, lo cual representa un riesgo para la estabilidad de los biomas de nuestro planeta, situación que afecta de manera directa al ser humano, ya que es una especie cuya subsistencia depende totalmente de ellos.

Como tal, la primera función de una envolvente arquitectónica es el resguardo ante amenazas climáticas y biológicas, tras una buena optimización de los espacios ante estos dos factores se deduce que existen condiciones propicias para el bienestar, situación a la cual también se le ha denominado como estado de *confort*, mismo en el cual, un ser humano puede sentirse a gusto con su entorno. Pero de ello no solo depende la temperatura de bulbo seco del local, depende también la humedad relativa, número de personas que ocupan el espacio, equipos mecánicos, materiales de construcción, entre otros.

Toda vez que muchos espacios han sido planificados sin tomar en cuenta soluciones bioclimáticas y que el aire acondicionado se traduce en un alto gasto energético, una forma de adecuación pasiva en las envolventes arquitectónicas para solucionar los problemas de confort en interiores es el aislamiento térmico. La ventaja de estas soluciones es que una vez concluido su periodo de funcionamiento, pueden ser reemplazados, si forman parte de un cuerpo externo a la envolvente principal, sin embargo, el inconveniente resulta ser la composición material de los mismos, puesto que son altamente contaminantes y tóxicos para la diversas estructuras de la vida, una vez que se desechan.

Existen así soluciones sustentables, entre las que se encuentran las hoy denominadas como técnicas tradicionales, ellas vienen de técnicas constructivas anteriores a las últimas generaciones y se caracterizan por tener un margen de sostenibilidad mayor a los materiales de edificación utilizados hoy día. Uno de estos materiales es el suelo o como se le conoce, tierra cruda, es un material que abunda en nuestro planeta, pero tiene diversas estructuras compositivas de acuerdo al lugar donde se obtiene. Por sí mismo, no representa una solución de acondicionamiento climático, sin embargo, dada su disponibilidad y flexibilidad para ser mezclado con otros materiales, es accesible para la elaboración de materiales compuestos que cumplan con esta función. Se considera que los recursos que brinda la tierra cruda como medio de climatización, son a partir de la creación de masa térmica o de disminuir la densidad en los muros.



2

CAPÍTULO 2. HÁBITAT RURAL Y SU FUNCIÓN DE BIENESTAR

La vivienda es un objeto producido culturalmente cuya finalidad es la protección del organismo humano ante amenazas externas que puedan afectar su equilibrio y con ello comprometer su existencia, por lo tanto, la configuración material del mismo se relaciona a soluciones materiales que le den estabilidad ante embates externos, como lo son los fenómenos naturales. Es por esta razón, que no toda la vivienda surge de los mismos requerimientos, ya que la diversificación de necesidades en los programas arquitectónicos se vincula con las necesidades de usuario, mismas que son intrínsecamente dependientes de la cultura y modo en que los individuos se adecuan a ella, por lo que es poco posible que existan necesidades similares en dos locales arquitectónicos, aun cuando sean destinados a la misma actividad.

Por esta razón, la naturaleza de la vivienda humana se contrapone a los diseños genéricos y de producción en serie, incluso dentro de culturas y usuarios similares. Por lo tanto, el uso y espacialidad del objeto arquitectónico dependen también, de la individualización o personalización del hábitat, situación que no puede ser predecible por los mecanismos de diseño. No obstante, un parámetro que puede ayudar a clarificar los modos de personalización del hábitat, es su concepción a través de las zonas urbanas y rurales, históricamente la diversidad entre ambos polos se ha ligado a las actividades económicas desarrolladas en un territorio y a la densidad demográfica del mismo.

El presente capítulo, busca abordar la conceptualización de la vivienda rural, considerar la validez del concepto de ruralidad en nuestro tiempo, al considerar cambios sociales del siglo XX, por lo que se presentan algunas de las posturas de las corrientes sociológicas que han determinado los cambios en las formas organizacionales de zonas consideradas tradicionalmente como rurales. De esta manera, factores externos como internos a las comunidades y su vida económica y cultural, han determinado ciertos cambios en los modos de vida, influyendo en la percepción individual del territorio y el ambiente. Por consiguiente, es necesario enfatizar de manera puntual la concepción de lo rural en los albores del siglo XXI, misma que influye en: espacialidad, tipología, materialidad, formas de emplazamiento y ocupación del territorio de los objetos arquitectónicos neo-rurales, mismos que han alterado la concepción tradicional de la vivienda rural.

2.1. El hábitat rural como adaptación al territorio y a la actividad productiva

La *vivienda autoproducida*¹⁸ es un fenómeno presente en todas las culturas de la humanidad, sin embargo, ella se ha situado al margen de los principales análisis teóricos, en parte, porque este tipo de manifestaciones del hábitat se realiza de manera intuitiva, con materiales precarios y como respuesta a las necesidades de habitabilidad por parte de individuos con bajo poder adquisitivo. A pesar de ello, agentes como el incremento demográfico mundial, crecimiento de la desigualdad económica social y el agotamiento de recursos naturales, hacen necesario el acercamiento de la disciplina arquitectónica al estudio de fenómenos como la vivienda popular y la sostenibilidad.

Aunque la problemática de la pobreza y el desarrollo sostenible sea una variable cuya solución final escapa de los límites arquitectónicos, es menester comprender que la solución de una vivienda digna está vinculada a la prevención de muertes infantiles, problemas sanitarios, gastos económicos innecesarios, ambientes menos contaminados, entre otras mejoras que repercuten de manera directa e indirecta en la calidad de vida en los usuarios. Deficiencias que han sido comprobadas a partir del confinamiento causado por la pandemia del año 2020, donde una gran parte de la población ha sufrido de niveles poco óptimos de ventilación e iluminación natural, bienestar térmico y espacios adecuados para el desarrollo de actividades, principalmente en zonas urbanas.

Por otro lado, en el caso de países subdesarrollados, la brecha entre las zonas urbanas y rurales está marcada por una discrepancia en el ingreso económico percibido por actividades desarrolladas, lo cual, repercute de manera directa en la calidad de vida que pobladores en localidades rurales presentan. A consecuencia de ello, el acceso a condiciones propicias del bienestar tales como alimentación, salud, educación y vivienda resultan desfavorables para la población de zonas rurales. De allí, que el vínculo entre pobreza y ruralidad sea una problemática constante en nuestro país y abordada por las políticas de desarrollo social.

No obstante, es importante comprender que la calidad de vida depende también, de satisfacer y asegurar las necesidades humanas de subsistencia a largo plazo, tal como lo refiere la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Burgui, 2008). Por ello, la

¹⁸ Es aquella edificada “por sus propios habitantes, sin apoyos institucionales, técnicos ni financieros en largos y desgastantes procesos, que pueden llegar a significar la espera de toda la vida de las familias; incluso, pasando el largo proceso inacabado a los hijos y nietos” (Argüello et al., 2012, p. 4)

planeación urbana y arquitectónica del hábitat permite un desarrollo favorable para la conservación de paisajes y territorios, repercutiendo en el equilibrio ambiental que influye en las estructuras sociales y biológicas que estos contienen. Señalando que el fenómeno rural se vincula directamente con entornos naturales, mismos que son responsables de surtir de elementos necesarios para la subsistencia biótica, tales como alimentos, agua, oxígeno, entre otros.

La vivienda emplazada en entornos rurales por lo tanto, impacta de manera directa en superficies adyacentes a *entornos naturales*¹⁹, por lo que las soluciones espaciales y constructivas que a ella den solución, influyen en la conservación de su territorio. Al igual que la vivienda emplazada en localidades urbanas, ella debe de ofrecer parámetros de habitabilidad a sus usuarios, misma que está condicionada por las actividades realizadas por los ocupantes de la misma, y que difieren de las actividades realizadas en un entorno urbano usual. Esta diferenciación de actividades y de entornos donde se desarrollan, son determinantes para la caracterización y división de lo *urbano*²⁰ y lo *rural*²¹. A partir de la conformación de organizaciones humanas y su establecimiento en un entorno geográfico, nace la cultura y con ello, la configuración de ciudades y la apropiación del territorio.

Para Montañez y Delgado (1998, p.121): “Espacio, territorio y región, y los procesos derivados de sus dinámicas, constituyen la esencia de la espacialidad de la vida social”. Entonces, aunque el medio físico determine la espacialidad del hábitat, este estará estrechamente ligado a factores *antrópicos*²² que determinen su aprovechamiento o transformación, tal es el caso de las actividades agropecuarias, que permitieron dar el paso de organizaciones humanas nómadas a sedentarias y con ello, el surgimiento de las civilizaciones, de las cuales surge un desarrollo cultural que da origen a lo que hoy definimos como ciudad, pero con ello no limitarnos a la ciudad como la expresión de vida urbana, sino como aquel asentamiento que indeterminadamente de su densidad poblacional, da origen a los modos de vida de una comunidad y por consecuencia, de los individuos que la habitan.

¹⁹ El “entorno natural” es aquel ligado a la biodiversidad y del cual se pueden explotar recursos (Duque et al., 2014).

²⁰ Una definición que puede variar de un país a otro, generalmente se le liga a una población con mayor población que las zonas urbanas, mayor densidad poblacional así como concentración de diversos servicios.

²¹ Como población rural se entiende aquella comunidad con un máximo de 2500 habitantes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

²² Se entiende por “antrópico” toda aquella acción que proviene del ser humano.

Bajo esta panorámica, las ciudades son un fenómeno cultural que representa las relaciones colectivas entre un grupo de individuos pertenecientes a una estructura poblacional y que impactan de manera directa en su vida y espacio privado. Además, las relaciones sociales determinan el surgimiento de espacialidades exteriores y de uso comunitario que permiten vincular los nexos entre el individuo, la comunidad y su entorno geográfico, mismas que dan origen al espacio público, siendo la urbe, uno de los ejes centrales del estudio de la disciplina arquitectónica y el Urbanismo.

En contraparte, el concepto *rural* comprende características que tradicionalmente difieren de la fenomenología urbana, pero cuya organización espacial entorno a un medio natural y actividades productivas, representa una variable de ocupación y generación de espacios públicos. Para efectos de la presente investigación, se determina a lo *rural* como expresión antagónica de *ciudad*, caracterizándose por una ocupación de baja densidad poblacional y de vivienda respecto al territorio, por lo que se le vincula directamente con la producción agropecuaria (*Figura 6*).



Figura 6. Paisaje rural donde se observa baja densidad poblacional en la zona de Santa María Techachalco, municipio de Chalchicomula de Sesma, Puebla (Fuente: Autor, 2019)

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), una población se considera rural cuando su población es menor a 2500 habitantes (FAO, 2018), y aunque esta clasificación no relaciona a la ruralidad por las actividades realizadas en su territorio, es menester señalar que por lo general, las dinámicas productivas y habitacionales difieren a las de la ciudad, ante ello las poblaciones rurales “se pueden referir a un amplio espectro de posibilidades: el campo, la naturaleza, el pueblo, la sociedad campesina, el rancho, el espacio abierto, el espacio no urbano, etcétera”. (González y Larralde, 2013, p.142). Desafortunadamente esa condición en nuestro país es la que limita el acceso a diversos servicios e infraestructuras que son prioridad en los conjuntos urbanos, principalmente educación, salud, agua potable y vivienda digna.

Cabe señalar, que en países subdesarrollados como el caso de México, donde la brecha de bienestar social y económico entre la población de zonas urbanas y rurales está condicionada por la desigualdad en la remuneración económica de acuerdo al tipo de trabajo, se ha propiciado el crecimiento desmedido de manchas urbanas y asentamientos irregulares, donde América Latina es un claro ejemplo que “la urbanización (...) ha sido inducida por un modelo de desarrollo que privilegió la urbanización y la industrialización como sinónimos de progreso, desarrollo y modernidad” (Echeverri y Pilar, 2002, p.37).

2.1.1. Trascusión de la ruralidad en el siglo XXI

Cabe señalar que aunque el pensamiento colectivo relativo a la *ruralidad* se relaciona con aquellos entornos donde se desarrollan actividades campesinas bajo entornos no urbanizados, es a partir de la década de 1990, que esta imagen representa un concepto simplificado sobre la dimensión del verdadero espacio rural (González y Larralde, 2013). Ya que un concepto de lo rural puede ser muy amplio y no existe una definición precisa (Paniagua y Hoggart, 2002) por lo que el término mismo puede estar abierto a diversas interpretaciones académicas o institucionales.

Es ante los cambios sociales generados por los modelos económicos recientes, aunados a la consecuente globalización cultural impulsada por las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC's), que la concepción sobre la ruralidad ha comenzado a ser replanteada desde las Ciencias Sociales, y con ello, la conceptualización tradicional sobre la vivienda rural como un espacio de características predominantemente locales, inversa a las condiciones

culturales de la urbanidad, ha comenzado a transformarse e incluso a asimilarse con rasgos de carácter urbano.

Por ello, y mediante el crecimiento industrial, tecnológico, de servicios y las dinámicas migratorias, las fronteras entre lo rural y lo urbano tienden a desaparecer, mientras que comprender el fenómeno social, económico y territorial que ha comenzado a surgir en las nuevas condiciones de la ruralidad, llega a ser un tema complejo incluso para las Ciencias Sociales, definiciones como: *Nueva ruralidad*, *agricultura periurbana*, *flexibilidad*, entre otros, aparecen como aproximaciones que buscan replantear las nuevas fenomenologías existentes en los territorios conocidos convencionalmente como zonas rurales. Según García y Quintero (2009) en el desarrollo local y la *Nueva ruralidad*, destacan las siguientes dimensiones:

- la dimensión territorial, como relación socio-histórica
- social, que incluye las formas de organización comunitaria
- económica, enfocada a las actividades productivas
- ambiental, mediante el uso de los recursos
- tecnológica, donde influye la transmisión del conocimiento
- cultural
- educativa

Asimismo, la tendencia integradora de la economía rural hacia las dinámicas económicas urbanas para el caso de los países desarrollados, ha dado origen al término de *flexibilidad* elaborado por la *Escuela regulacionista francesa*²³ en la década de los 70's del siglo XX. Este pretende explicar el agotamiento de sistemas nacionales de regulación y la aparición de mecanismos globales (Delgado, 1999). En contraparte, en países subdesarrollados, se percibe el crecimiento de zonas industriales en los territorios considerados como rurales, impulsado por las condiciones del modelo económico *neoliberal*, el cual para en el caso de México "sido inundado con importaciones altamente subsidiadas de producción agropecuaria contra las cuales la mayoría de los productores no pueden competir, esto ha desincentivado la producción y causado el desplazamiento migratorio de muchos productores" (Sánchez, 2014, p.947), esta situación ha determinado el crecimiento de zonas industriales en regiones rurales y migración poblacional.

²³ La escuela francesa de la regulación se propone llevar a cabo un análisis del capitalismo y sus transformaciones, con el fin de comprender los períodos de crecimiento estable y los momentos de cambio estructural. (Gajst, 2010, p. 1).

No obstante, aún con las dinámicas económicas y sociales desde finales del siglo XX hasta la actualidad, que han trasgredido la estabilidad conceptual de la *ruralidad* a tal grado que ha dejado de ser una fenomenología estática e independiente de lo urbano, ya que en diversos escenarios se ha abandonado el ritmo de vida que tradicionalmente estaba vinculado con el entorno agrario. El concepto de *ruralidad* como una zona geográfica propicia para el desarrollo de actividades agropecuarias y de baja densidad demográfica, ha sido útil para planteamientos y estudios de carácter estadístico y políticas gubernamentales, razón por la cual, la conceptualización convencional se toma como parámetro para las relaciones de la ruralidad y el estudio del fenómeno habitacional que bajo estas condiciones se desarrolla.

Por ello, al plantear el tema de la vivienda desarrollada en entornos rurales se llega a tocar la temática de ideologías decimonónicas de lucha de clases como el *Materialismo Histórico*²⁴, misma que trajo consigo la clasificación y estudio del hábitat en relación a las clases sociales donde emerge, por lo que surge el término de *vivienda popular* (Guaraldo y Schwartz, 1981). Aunque bajo esta conceptualización se engloba y caracteriza el hábitat de las clases sociales explotadas por la burguesía, debe entenderse que estas ideologías se desarrollaron en un periodo cultural temporalmente diferido al nuestro, su enfoque parte del abandono del campo hacia las ciudades, y no caracterizando a la vivienda rural como una caracterización de la vivienda popular, la cual se desarrolla en territorios y modos de vida diferidos de la industrialización urbana decimonónica.

Así, la *vivienda popular urbana* definida bajo el sinónimo de vivienda obrera, es allegada a los polos industriales de desarrollo y confinada a las ciudades. En contraparte, la *vivienda popular rural* puede vincularse a economías agropecuarias, que en el caso mexicano se desarrolla bajo otro ritmo cultural, enmarcado por tradiciones y organización comunitaria, realidad que las ideologías progresistas decimonónicas no consideran. Así, la constitución del hábitat local de comunidades rurales mexicanas, se establece en base a modos de vida mestizos, y en algunos casos predominantemente indígenas como el denominado *tequio*²⁵, por

²⁴ Marx y Engels aplicaron el materialismo dialéctico al estudio de la sociedad y la historia, crearon una teoría científica de leyes generales de ese desarrollo social. Este es el materialismo histórico. El marxismo determinó que los hombres crean su historia no según su arbitrio sino según condiciones que heredaron de generaciones pasadas (De Volio, 1974, p.4).

²⁵ Bustillo y García (2016) señalan que el tequio es una forma de contribución del individuo para su comunidad en poblaciones indígenas

lo tanto, la expresión del hábitat rural mexicano se establece en modos de vida ancestrales y arraigados a la actividad agrícola, pero modificados de acuerdo a la influencia cultural española (Prieto y Carrillo, 1978).

2.2. Acercamiento a la clasificación de vivienda rural

Toda vez que se ha referido el sustento de la ruralidad y las dinámicas sociales que en ella se manifiestan afectando las características del hábitat, es necesario señalar que las expresiones tipológicas de las edificaciones que allí se manifiestan refieren por consecuente, a circunstancias e influencias culturales de usos y costumbres de tradiciones ancestrales que han sido modificadas por el accionar de eventos externos. Así, se señala que clasificar o agrupar de manera genérica a este tipo de representaciones arquitectónicas resulta una tarea complicada, dada la cantidad de variables que pueden variar de una localidad a otra y más aún, plantear desde el diseño arquitectónico prototipos de vivienda para comunidades rurales, puede resultar poco apropiado para la libertad expresiva de las necesidades del hábitat tanto individuales como colectivas.

Así, la agrupación de determinados casos de vivienda de acuerdo a tipologías o características similares, puede ser de gran ayuda si se busca de manera general catalogar las experiencias de vivienda rural (VR), pero ello serviría únicamente a nivel local o cunado mucho regional, ya que aun cuando existan mismas condiciones materiales o fachadas, la distribución espacial puede variar en demasía. Es importante señalar que una forma de clasificar los objetos arquitectónicos es a partir de valores compositivos, tales como la volumetría y la materialidad, ello se ha realizado desde teóricos como Vitrubio.

Para Guerrero (1998), la Tipología permite llevar a cabo la reducción de la diversidad y la complejidad a un sistema general, ya que el avance tecnológico ha permitido la diversificación y la complejidad de agrupar sistemas constructivos. Por lo tanto, una propuesta de estudio tipológico se conforma por: componentes funcionales, formales, constructivos, semióticos y de emplazamiento, para clasificar elementos arquitectónicos similares. Estas condiciones son auxiliares para la clasificación de los objetos arquitectónicos desde sus características generales, hasta las particulares, señalando que cada una de ellas depende a un contexto cultural, económico y geográfico.

Aunque como se ha señalado, las formas de clasificación pueden ser múltiples de acuerdo al objeto de estudio, en la presente investigación se parte de una amplia clasificación que se centra en la condición socioeconómica, ella identifica a la vivienda popular como expresión arquitectónica entre diversas manifestaciones que se pueden encontrar. Después de ello, puede englobar a la vivienda popular de allí, se deriva una clasificación por ocupación del territorio, misma que sería rural o urbana, para delimitar propiamente la arquitectura rural en expresiones primarias (vernácula) o secundaria (contemporánea). Esta última clasificación se hace respecto a los materiales utilizados para la construcción de la misma, ya que como se verá en la zona de análisis, existen reminiscencias de las expresiones primarias en cuanto a la distribución de locales.

2.3. Arquitectura vernácula expresión primaria de la vivienda rural

A la situación y expresión particular del hábitat en una localidad determinada de acuerdo a sus modos culturales, se le conoce actualmente como *Arquitectura Vernácula*, misma que a partir de determinados juicios de valor puede caracterizarse dentro de criterios de valor patrimonial, según la carta del *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS), en referencia al Patrimonio vernáculo construido: *“El Patrimonio Tradicional o Vernáculo construido es la expresión fundamental de la identidad de una comunidad, de sus relaciones con el territorio y al mismo tiempo, la expresión de la diversidad cultural del mundo”* (ICOMOS,1999, p.1).

Como consecuencia, el patrimonio vernáculo representa la expresión más auténtica de un asentamiento humano, en ella se puede reflejar no solo el desarrollo cultural, sino también el dominio técnico a partir de la materia prima local, así como la adaptación a las necesidades climáticas de un territorio, al mismo tiempo que en ella se pueden asentar influencias culturales de otras localidades. Bajo esta circunstancia, las acciones ejercidas por una comunidad en la preservación o abandono de este tipo de construcciones tienen un papel fundamental, siendo que es una forma de identidad original (*Figura 7*).



Figura 7. Vivienda vernácula realizada con materiales locales, donde el desinterés de la comunidad por la preservación de su patrimonio construido, ha llevado hacia la desaparición del mismo. (Fuente: Autor, 2019, Lugar: Santa María Techachalco, Municipio de Chalchicomula de Sesma, Puebla)

El detrimento del patrimonio vernáculo es una manifestación de la desvalorización del territorio por parte de una comunidad, por lo que tradiciones culturales del denominado *Patrimonio Intangible*²⁶ se ven en riesgo ante la transculturización y pérdida de identidad individual y colectiva. Lárraga et al. (2014, p.171) comentan por su cuenta que “La vivienda tradicional al igual que la vivienda vernácula, rural, popular autoconstruida, campesina, indígena y natural, ofrecen una respuesta a las necesidades de habitabilidad de los pueblos con una adecuación continua a su medio ambiente”, por lo que se puede entender la integración del hábitat rural con el paisaje natural, pero también, la propagación cultural de determinados modos que al traspasar generaciones, se convierten en tradiciones, usos y costumbres.

²⁶ Esta definición engloba a todas aquellas tradiciones culturales e intelectuales que por su originalidad y pertenencia tienen el valor de ser resguardadas, sin embargo, al no ser materializadas como bienes materiales, tienen el riesgo de perderse. Como ejemplos de Patrimonio Intangible, se tiene la música, lenguaje, gastronomía, fiestas, entre otros.

Sin embargo, el problema de vincular directamente a la *ruralidad* con la *tradicición*²⁷ conlleva a la idealización de los fenómenos del hábitat desarrollados en estos entornos, lo que conlleva al peligro de congelar los atributos de la vivienda vernáculo de acuerdo a sus valores de aparición originales, y no dejar que ella evolucione como expresión cultural humana, convirtiendo al patrimonio en una escenografía a partir de idealización de patrones específicos. Por lo que más allá de representar la tradición cultural de una localidad específica, la vivienda rural se convierte en la adaptación del hábitat a una geografía y actividades productivas que pueden variar dependiendo el momento histórico en que se materialice.

Por lo tanto, asimilar el concepto de tradicional o vernáculo como sinónimo de vida campesina, delimita la comprensión del fenómeno rural, ante lo cual, Lárraga, et al. (2014, p. 173) mencionan que:

“...cuando idealizamos o subestimamos el conocimiento indígena, corremos el riesgo de plantear acciones que paralicen su desarrollo o bien, que deterioren su identidad cultural... La arquitectura tradicional, es el corpus del conocimiento empírico de los pueblos originarios acerca de técnicas y materiales de construcción, principalmente del uso habitacional, con las siguientes características: es didáctica y homogénea; mantiene una estrecha relación entre sociedad y el objeto arquitectónico”.

En referencia a la vivienda rural (Guaraldo y Schwartz, 1981, p.15) la definen como aquella que “en su dimensión geográfica es reducida, de dimensión artesana o economía preindustrial, existe una baja intensidad en la transformación del objeto del trabajo y existe una posibilidad en la transmisión del conocimiento”. Una concepción que delimita la morada rural en cuanto a su margen geográfico y cultural como fenómeno antagónico a la ciudad, que evoca una materialidad que procede de recursos, mano de obra y conocimiento local, lo que deriva en una tradición, por lo que aquellas expresiones cuya transformación emana de procesos industriales, o se auxilia en recursos externos queda descartada de esta aserción.

Situación que puede ser incluso cuestionable dadas las conexiones comerciales que diversas culturas han tenido hasta nuestros días, no obstante la industrialización de la materia prima refleja un parámetro que irrumpe con la continuidad cultural de la vivienda, no solo en el

²⁷La idea común que se tiene sobre la tradición es la que etimológicamente hace venir el termino del latín “tradere”, del que derivaría tradición, es decir lo que viene transmitido del pasado; por extensión, el conjunto de conocimientos que cada generación entrega a la siguiente. (Arévalo, 2002, p.926).

marco geográfico de lo rural, sino también en la ciudad, sujetar el concepto de hábitat rural a su expresión material perjudica a las dimensiones y relaciones espaciales que ocurren al interior de ella, que al final de cuentas es parte del entorno arquitectónico del cual en numerosos casos de análisis no se cuenta con un registro.

Asimismo, diversos autores la llegan a clasificar bajo el concepto de *vivienda campesina*²⁸, e incluso vincular e igualar con la denominada arquitectura *vernácula*²⁹. Tales designaciones dependen de diversas cualidades de la edificación, como materiales, energía implementada, cualidades estéticas o espaciales, que pueden incrementar las características tipológicas de la misma. Por ello, para efectos de la presente investigación, los conceptos de: vivienda campesina, rural, tradicional y vernácula, se manejan como sinónimos al conocer que son expresiones arquitectónicas a partir del uso de materiales cuya obtención y transformación es de manera local, así como favorecen la utilización de materiales artesanales, procesos de organización autoproductiva, y tipologías acordes al entorno geográfico.

Ello establece una diferencia significativa con el fenómeno de autoproducción de vivienda en las ciudades, cuya fenomenología tiene otro origen y características. Del mismo modo, se refiere que un término más apropiado para el presente texto es el de vivienda rural, dadas las modificaciones que existen en la actividad económica, tipología de la vivienda u otros aspectos que puedan afectar la objetividad de este análisis que se dirige plenamente a las cualidades materiales de las edificaciones.

Las dos variables históricas que han dado pauta a la conformación del hábitat campesino son: tradición cultural y la economía (Prieto y Carrillo, 1978), ellas determinan en gran medida, las formas de construcción y organización de las comunidades campesinas en México, no solo en función de la materialidad de los objetos arquitectónicos, sino también de su conocimiento y transmisión hacia generaciones posteriores, lo que ha permitido que formas de organización colectiva para la autoproducción de vivienda o espacios comunitarios, como el *tequio* lleguen hasta nuestros días (*Figura 8*).

²⁸ Concepto utilizado por Rodríguez (1984) para hacer referencia a la vivienda emplazada en zonas agrícolas y en propiedad de trabajadores agrarios con ingresos económicos mínimos.

²⁹ Se puede definir a la vivienda vernácula, como la expresión del hábitat arquitectónico que es la expresión fundamental de la identidad de una comunidad, de sus relaciones con el territorio y al mismo tiempo, la expresión de la diversidad cultural del mundo (ICOMOS, 1999).



Figura 8. Las técnicas constructivas en tierra cruda, por su propia necesidad de manufactura, requieren de la colaboración de un grupo de personas, lo que favorece la interacción comunitaria. (Fuente: <http://tuxtepec.gob.mx/2018/08/13/realiza-davila-el-tequio-numero-66/> Consulta: 05/04/2020 2019)

Al considerar nuevas formas de organización del entorno rural que han modificado costumbres y materialidad en la edificación del hábitat, se debe tener presente que mientras siga existiendo una población que depende de actividades agropecuarias, seguirá existiendo la relación del hábitat con las tierras de cultivo. “La vivienda rural esa ligada estrechamente a las condiciones del medio natural y es un hecho funcional, reflejo de la vida misma del campesino que resuelve las necesidades materiales de su vida cotidiana” (Luque, 2013).

Es debido a esta circunstancia que aun cuando se reflejan aspiraciones culturales en las expresiones de vivienda que están ligadas a los medios urbanos, siguen existiendo usos y expresiones propias de las actividades económicas agropecuarias, que difícilmente pueden desligarse. Una situación parecida (pero inversa), y bajo otro fenómeno social muy diferente en donde se observa que las expresiones tipológicas de las primeras viviendas autoconstruidas en los asentamientos periféricos de la Ciudad de México responden a expresiones de la vivienda rural, puede ser un tema de análisis para otras investigaciones.

2.4. La comunidad como instancia de construcción y destrucción de valores en la vivienda rural

Las sociedades actuales a causa de múltiples fenomenologías, como las migraciones, globalización, entre otras, han dado paso a parámetros donde formas de organización social como el trabajo comunitario dentro de poblaciones rurales, han ido desapareciendo o adaptándose a las necesidades de la época. Acosta (2014), expone dimensiones desbordadas de la globalización y propone pensar el mundo globalizado bajo la premisa de un lugar donde los individuos y los grupos negocian y disputan simbólicamente como anexar lo global a sus prácticas.

No obstante, en algunas comunidades indígenas de México, en estados como Chiapas y Oaxaca, el *tequio* como forma de organización sigue estando vigente y ligado a la autoproducción de vivienda. El *tequio* es una costumbre muy común en las comunidades indígenas, que consiste en la realización de un trabajo totalmente obligatorio para los miembros de una comunidad, donde según un habitante de los altos de Chiapas refiere: “Los usos y costumbres no los inventamos nosotros pero, eso sí, gracias a esta normatividad sobrevivimos” (Gómez, 2005, p. 131).

Podemos deducir una visión sistémica de la organización del desarrollo comunitario prevaleciente en nuestros días, altamente dependiente del aparato gubernamental, donde se entiende que la suma de esfuerzos locales se conjunta con el gobierno para mejorar las condiciones económicas, sociales y culturales de las comunidades; y solamente de esa forma, se pueden integrarlas comunidades a la vida del país y contribuir plenamente al progreso nacional (Ander-Egg, 1993). Lo que implica hasta el momento en nuestro país, se ha implementado bajo la formación de un sistema jerárquico donde gobierno, comunidad, individuo y materia, funcionan bajo el margen de programas asistencialistas y donde los materiales constructivos tradicionales tarde que temprano estarían destinados a ser relegados.

Por ello, han surgido corrientes que a partir de la revalorización de materiales tradicionales como la tierra cruda, madera, entre otros, intentan que la arquitectura con materiales de bajos procesos industriales sea una alternativa económica y ecológicamente viable para la demanda constructiva de vivienda popular que el siglo XXI demanda, y ello solo se puede lograr mediante la mejora de sus procesos técnicos, que permitan ser más atractivos

tanto a nivel de resistencia mecánica como en costos a diferencia de los materiales producidos bajo generación industrial.

Situación que en búsqueda del perfeccionamiento técnico de procesos tradicionales puede tener otro rumbo, donde la concepción sistémica se proyecte como una relación directa entre la comunidad y el material, bajo un intermediario que sería un mecanismo, para dar soluciones a un individuo y a su entorno ambiental, cerrando el ciclo del “bien común”. De esta forma, tradiciones de organización comunitaria, podrían funcionar como mecanismos de control de los materiales referentes, es decir las estructuras estáticas (Von Bertalanffy, 1976). De manera tal, que se pueda englobar el manejo sostenible de los materiales “En un inicio, las dimensiones visualizadas para la sostenibilidad eran la ambiental, la social y la económica; más adelante, en el desarrollo del concepto se desprendieron la dimensión cultural y la institucional como entes independientes” (Lárraga, 2014, p. 10).

En un país con amplia desigualdad como el nuestro, queda una deuda de acercar el desarrollo científico y tecnológico a los grupos económicamente más desfavorecidos, sin embargo, estos grupos sociales más vulnerables y aquellos implicados en procesos de exclusión, suelen carecer en mayor medida de herramientas tecnológicas. De esta manera, el vínculo entre formas de organización tradicionales, materiales naturales para la construcción y el uso de tecnologías, dan un rumbo de sistemas emergentes, entendiéndose como situaciones aun no exploradas o que pueden dar pauta a nuevas vertientes. Y como tal, la Arquitectura más que ser la disciplina que proyecte y construya espacios habitables, para el caso de arquitectura rural y comunitaria, debe perfilarse como la conexión entre las variables mencionadas.

Por lo tanto, aunque la expresividad de la vivienda en las zonas rurales de México está determinada por las actividades económicas, las cuales han sido afectadas por el desarrollo de zonas industriales en sus territorios y migraciones transnacionales a partir del fenómeno globalizador, estos fenómenos llevan a nuevas formas de emplazamiento en el territorio y de necesidades tanto colectivas como individuales en las formas de organización territorial y social. Señalando a su vez, que la única constante histórica en las zonas rurales de nuestro país es la disparidad en los ingresos entre zonas rurales y urbanas, por lo que es común observar que la edificación de la vivienda rural en México ocurra de forma *progresiva*³⁰, y que en muchas

30 A la Vivienda Progresiva se le considera como un hábitat que no se termina durante un proceso y que se adecua de acuerdo a las necesidades de los usuarios.

ocasiones, elementos como cubierta, puertas, ventanas, e incluso pisos llegan a ser improvisados mediante láminas metálicas, micas o elementos diversos del reciclaje de otras construcciones u objetos, que adaptan y modifican la vivienda ya establecida, sea de carácter tradicional o contemporáneo.

2.5. Vivienda rural contemporánea y su adaptación al clima

Es necesario señalar que las expresiones arquitectónicas de vivienda contemporánea en México desarrolladas en zonas rurales, son realizadas a partir de la concepción de progreso social identificables en los modos de vida urbanos o norteamericanos, situación impulsada por migraciones poblacionales hacia estas zonas, pero también, resalta la influencia de políticas gubernamentales que vinculan el uso de viviendas vernáculas como sinónimo de *pobreza extrema*³¹. Aunado a ello, la reciente producción y demanda de materiales industrializados a partir del Cemento Portland Compuesto, el acero, y derivados de la industria petroquímica, facilitan la adquisición de estos productos, mismos que permiten una reducción de los tiempos de ejecución de obra, así como resistencias mecánicas homogéneas y superiores en la mayoría de los casos a las técnicas tradicionales, han impulsado el abandono y destrucción de edificaciones vernáculas (*figura 9*).

De esta manera, comienza una homogeneización entre las expresiones tipológicas de la vivienda rural y urbana en muchas comunidades de nuestro país, en gran parte por la ruptura entre la brecha que caracterizaba a estas dos entidades fenomenológicas por las circunstancias sociales y económicas ya mencionadas, pero es en estas circunstancias donde las expresiones arquitectónicas muestran cierta incongruencia entre los espacios concebidos y el uso que a ellos se les da, encontrando muchos espacios internos vinculados a actividades propias de la actividad agrícola u otra dirigida a la subsistencia familiar. Tales locales, en expresiones de vivienda vernácula han sido localizados en exteriores, ligados a actividades como el guardado de granos, herramienta, e incluso corrales. Estas circunstancias, denotan que aun cuando la vivienda rural tiende hacia su transformación tipológica, las actividades de subsistencia, que a largo plazo dominan, tienden a influir en las expresiones edificatorias, por encima de cualquier planteamiento ideológico de progreso social.

31 Situación económica en que el ingreso por hogar no es el suficiente para cumplir con necesidades básicas de alimentación.



Figura 9. En la imagen se puede observar que existe un claro abandono de las técnicas vernáculas, en preferencia por las mamposterías de block de concreto, y el cambio tipológico que ello implica en muchas comunidades del país. En este caso, es una localidad urbanizada en el centro del municipio de Tlamanalco, Estado de México. Fuente: Autor, (2019), con agradecimiento a Augusto Zamora).

Dado que la manifestación del hábitat contemporáneo en estas zonas es una imitación de los caracteres urbanos o extranjeros, es poco común que la vivienda se adecue al entorno ambiental y con ello, cumpla con las necesidades de climatización de los espacios arquitectónicos. Contrario a las observaciones realizadas en la vivienda vernácula, la vivienda contemporánea en su volumetría tienda hacia formas ortogonales dadas las condiciones del material utilizado que es el block macizo, tabique rojo o gris. Este material, salvo en algunos casos, se utiliza como elemento macizo, por la idea popular de considerarlo “más resistente” ante fenómenos naturales, y que puede perdurar como patrimonio familiar, por lo tanto, en el diseño no se considera el aislamiento térmico que puede favorecer un bloque hueco o algún otro acabado.

Históricamente, existe un vínculo de carácter social entre la calidad de vida que poseen los seres humanos y la composición material de las edificaciones que habitan, misma que se liga con el poder adquisitivo del propietario, circunstancia que ha determinado una influencia cultural en la elección de cierto tipo de materiales al momento de edificar un objeto arquitectónico (sea vivienda, edificio público, rascacielos, palacio, templo, etc.). Dicha influencia ha repercutido a su vez, en la migración de sistemas tradicionales para la vivienda hacia la utilización de otro tipo de materiales, a tal grado que en nuestro país hoy en día la denominada *autoconstrucción* o autoproducción de vivienda por un individuo o grupo social, se realiza principalmente con materiales contemporáneos altamente industrializados, de costo elevado y que sin asesoría especializada, no garantizan la efectividad total de los mismos.

A su vez, variables como programas gubernamentales, migraciones, globalización, fenómenos naturales, entre otros factores ajenos a la disciplina arquitectónica, han inducido también, en la transformación de edificaciones construidas con materiales regionales hacia nuevas tipologías de vivienda popular contemporánea, donde predominan materiales como el block y el concreto armado, aceptando el uso de estos materiales como un patrón determinante de desarrollo y bienestar social. Ante ello, adjudicar la calidad de vida de la vivienda hacia la dependencia específica de ciertos materiales, puede resultar una tendencia desacertada, puesto que como se ha visto en el presente capítulo, la habitabilidad y el confort humano está relacionado a sensaciones de bienestar que brindan otros aspectos que forman parte del diseño y uso del objeto, como son: la ventilación, iluminación, temperatura y humedad controlada, entre otros.

Dado que se ha dado énfasis a nivel mundial en el aislamiento de envolventes para mejorar las condiciones de vida de la población vulnerable, y resarcir efectos negativos en la salud y en gastos gubernamentales creados por ambientes no confortables, como lo menciona Heintz y Kennedy (2009, p. 3) “Cada dólar invertido en aislamiento (...) en la década de los noventa, permitió ahorrar USD\$2 en gastos de salud”. Se deben tomar en consideración los materiales implementados, mismos que pueden generar problemas ambientales a futuro que impactan a los usuarios u otras localidades, tomando en consideración que la extracción, transformación, traslado, aplicación y mantenimiento de dichos materiales llega a generar una gran cantidad de GEI (gases de efecto invernadero), así como residuos sólidos de difícil degradación en el territorio donde se establecen.

Conclusiones de capítulo

La producción autónoma de vivienda es una actividad que históricamente se ha desarrollado en todas las culturas, por ello, ella misma es la expresión material de diversos grupos humanos, pero es a partir del desarrollo industrial en las urbes, donde se observó un crecimiento desmedido y olvido de soluciones bioclimáticas. En México, existió ese despunte en la segunda mitad del siglo XX, cuando pasa de una nación predominantemente rural a urbana, impactando en la percepción de la vivienda vernácula de zonas rurales que se adecuaba de manera más integral al ambiente.

Así, aunque la vivienda vernácula responde a tradiciones culturales y ambientales, el desarraigo de la población hacia estas costumbres, ha desembocado en la implementación de nuevos materiales, cuyos gastos se reducen en cuanto a tiempo y economía a corto plazo, pero la producción de desechos se encuentra en constante afección con el medio local, del cual subsisten las comunidades agrícolas, así como un probable incremento de consumo energético a largo plazo, dado que no existen condiciones de diseño favorables.

Pero, más allá de factores ambientales, la pérdida del conocimiento de las técnicas vernáculas relacionadas a la vivienda rural, influyen en el detrimento de valores culturales de margen patrimonial, al igual que formas de organización humana colectiva (comunitaria o familiar) en donde el hábitat rural mexicano ha perdido su sentido de identidad a un territorio y cultura. En este sentido, es una constante contemporánea la adecuación post-edificatoria de espacios planeados para una vivienda con estándares urbanos en su habitabilidad, para su uso posterior como locales “adaptados” para el desarrollo de actividades propias de la economía local.



CAPÍTULO 3. CHALCHICOMULA DE SESMA, VIVIENDA RURAL Y BIENESTAR TÉRMICO

La diversificación de expresiones del hábitat, incluso cuando se engloban dentro de caracteres similares como es el caso de la vivienda rural, se liga a actividades humanas y a la satisfacción climática de los ambientes creados, sin embargo, al existir mutaciones tipológicas en los objetos arquitectónicos a través de influencias socioculturales, emerge la discordancia entre las actividades desarrolladas en él y el desarrollo material de los mismos, este fenómeno se puede observar en diversas regiones con presencia rural a lo largo del territorio mexicano.

El desarrollo del presente capítulo se enfoca hacia una región específica en la zona oriente del Estado de Puebla, enclavada en una región conocida también como Valles Serdán, pero dada su amplia extensión territorial que comprende diversos municipios, el estudio se centra en una población perteneciente a uno de los municipios con mayor impacto ante agentes climáticos ambientales a nivel regional. Así, se opta por delimitar el estudio a Chalchicomula de Sesma y una junta auxiliar conocida como Santa María Techachalco, la elección de este sitio se realiza por cuestiones logísticas y cercanía con la cabecera municipal, Ciudad Serdán.

La situación de afección climática que el Ciltaltépetl ejerce sobre este territorio correspondiente a Puebla, se manifiesta en la inconformidad térmica, principalmente en época invernal, que se refiere en gran parte de los habitantes de la población analizada, esta consideración se toma en cuenta a partir de una encuesta realizada a un grupo de personas de la localidad. En base a ello, la orientación de este análisis capitular se dirige a las condiciones de bienestar que provee la vivienda rural contemporánea, misma que al desplazar a la vivienda vernácula, domina la manifestación del hábitat local.

A partir de esta circunstancia y datos climáticos locales tomados en sitio durante el periodo de los meses con mayor descenso térmico, se aplica su relación con la carta bioclimática de Olgyay, así como la aplicación de parámetros de ASHRAE 55 pertinentes al confort adaptativo. Asimismo, se establece una comparativa de gasto energético con datos de facturas de 3 viviendas contemporáneas y se comparan con la vivienda vernácula establecida en la localidad mediante la simulación virtual de gasto energético, apoyándose de la herramienta de Revit© Insight© de la compañía Autodesk© con funciones y licencia de versión estudiantil.

3.1. Consecuencias del malestar térmico en localidades emplazadas en el Eje Volcánico Transversal

México es un país geográficamente diverso, por lo que existen múltiples climas a lo largo de su extensión territorial, tal condición determina la existencia de poblaciones en zonas cuyo riesgo ante fenómenos naturales puede incrementarse dependiendo su emplazamiento. Como tal, los fenómenos climáticos no son la excepción, así como se ha mencionado con anterioridad la diversidad de climas y su adaptabilidad de acuerdo a la clasificación de Köppen, la variedad de biomas en territorio nacional, consecuencia de elevaciones topográficas, dificulta la homogeneidad de climas en territorio mexicano. Es necesario considerar que aunque la mayoría de las regiones al sur del Trópico de Cáncer tienden hacia la caracterización de climas templados, existen condiciones que determinan variaciones en los climas locales o microclimas, por lo que poblaciones cercanas a las elevaciones más altas del país llegan a tener descensos térmicos similares a los de la región norte del país, y que se acentúan en época invernal, pero también se ven afectadas por los incrementos térmicos o de humedad relativa (HR) en los meses de abril y mayo, condiciones que son desfavorables para la sensación térmica de los usuarios y bajo ciertas consideraciones pueden representar un incremento en el gasto energético.

En México, existen poblaciones emplazadas en elevaciones superiores a los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm) situadas en la zona central del territorio nacional, la altitud en este caso, es consecuencia del choque de placas tectónicas continentales que conforma una franja central con diversas elevaciones geológicas denominada como Eje Volcánico Transversal, que cruza al país desde el Océano Pacífico hasta el Golfo de México y el cual permite la conformación de cuencas y montañas en esta franja central. Entre las montañas más importantes se encuentran: el Pico de Orizaba, los Cerros de las Derrumbadas, Cerros del Pinal y del Tintero, la Malintzin, la sierra Nevada y del Ajusco, el Nevado de Toluca, el Iztaccíhuatl, el Popocatepetl, las Sierras de Apatzingán, Santa Clara y Apatzingán así como el Volcán de Colima (Yarza de la Torre, 2003). La mayoría de estas montañas se concentra en la zona central del país, misma que es más densamente poblada en comparación con otras regiones, por consiguiente, la problemática de estar emplazadas a una mayor *altitud* es que sus habitantes son vulnerables a circunstancias meteorológicas que en circunstancias de una *altitud* al nivel del mar, no impactarían de igual manera. Una de estas circunstancias es una mayor

vulnerabilidad a *frentes fríos*³² o corrientes gélidas, ante lo que Longar et al. (2017, p. 9) señalan que:

“...eventos como las masas polares que invaden el territorio mexicano procedente de Estados Unidos y Canadá que al combinarse con masas de aire húmedo procedente del Océano Pacífico y alimentadas en altura por la corriente de chorro subtropical pueden ocasionar nevadas en las partes altas de las montañas y heladas en los valles intermontanos”.

Estos fenómenos que se conectan con eventos que en agricultura son conocidos como *heladas*³³, impactan de manera directa la habitabilidad de las poblaciones ubicadas en las zonas altas del Eje Volcánico Transversal, “Las heladas se presentan principalmente en los meses de diciembre y enero (65%) y 25% en febrero, marzo y noviembre” (Longar et. al., 2017, p. 12), estos eventos ocurren de manera natural y ocasionan un descenso en la temperatura ambiente en las localidades que se emplazan en estas regiones geográficas, llegando a ser un riesgo natural para población endeble por vivienda insuficiente para enfrentar estos riesgos dada su manufactura poco adecuada, ya que según Ortiz y Vidal (2005, p.96) “las condiciones de los inviernos pueden ocasionar riesgos para la población, principalmente en países como México, que no cuenta con suficiente equipamiento, y por la falta de recursos y cultura para enfrentar el frío, éste puede ser mortal”, ya que parte de las costumbres en nuestra población es la falta de adecuar a la vivienda de aislamiento térmico o de equipos de acondicionamiento, situación que en gran medida se debe al desconocimiento, pero también al gasto económico que implican

En la *figura 10* se muestra un mapa que indica el número de meses fríos en la zona central del país, resalta que una de las zonas con prevalencia de 6 a 12 meses, fríos al año es la zona de estudio, al igual que regiones que se encuentran cercanas a elevaciones montañosas o volcanes similares (Ortiz y Vidal, 2005), la presencia constante de estas

³² Un frente frío es una zona de contacto entre dos masas de aire distintas, una fría que empuja y una cálida que es desalojada e impulsada hacia arriba. La elevación del aire cálido se produce de manera brusca y da lugar a grandes nubes de desarrollo vertical. Una vez que el aire cálido ha sido “expulsado” el aire frío ocupa su lugar (Latasa, 2002, p. 1).

³³ Aunque es un fenómeno meteorológico que impacta a la agricultura, una helada se percibe como el descenso de temperaturas cercanas o por debajo de los 0 °C

condiciones térmicas impacta en las actividades humanas así como en su estado de bienestar y salud.

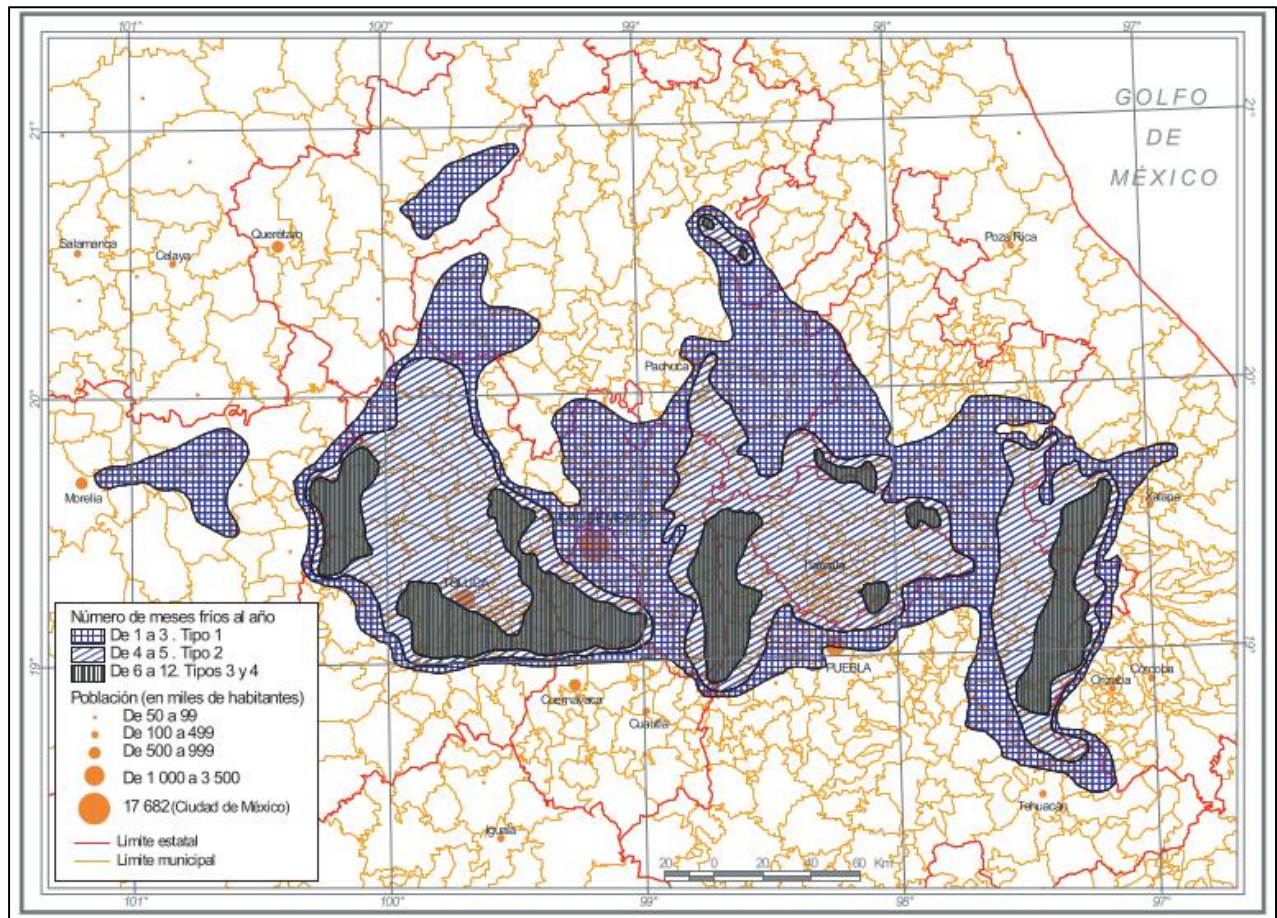


Figura 10. Se observa el número aproximado de meses fríos al año en la zona central del país de acuerdo a Ortiz y Vidal (2006, p.109).

La imagen anterior muestra una franja vertical paralela al Pico de Orizaba, misma donde se ubica la localidad estudiada, la influencia climática donde es predominante la sensación de frío, llevara a considerar que si la vivienda no cuenta con las condiciones óptimas de resguardo físico, ella compromete la salud de los usuarios. No obstante, el acondicionamiento óptimo del objeto arquitectónico está ligado directamente a la condición socioeconómica del propietario, y si bien, el sitio de estudio no es una localidad en condiciones de pobreza extrema, el bajo nivel económico que los habitantes tienen en las zonas rurales en general en nuestro país, cerca del 60% (Escobar y Ponce, 2003) da como consecuencia una mala calidad y planeación de la vivienda ante eventos climatológicos adversos que se presentan en comunidades catalogadas

como tales. Para el caso particular de acondicionamiento térmico, actualmente este se realiza de manera intuitiva por los usuarios, implementando el uso de calefactores mecánicos, aumento de prendas de vestir y en el peor de los casos, la quema de combustibles en el interior de espacios con mala ventilación, lo cual conlleva a otra serie de problemas sanitarios como las intoxicaciones por monóxido de carbono (Rodríguez et al., 2005).

Existe a su vez, el caso específico de las enfermedades respiratorias agudas, mismas que se conocen como *Infecciones Respiratorias Agudas Severas* (IRAs), que representan una de las causas de morbilidad más alta en el país, principalmente en época invernal, donde existen grupos de riesgo que son: menores de 2 años, adultos mayores, embarazadas y enfermos de padecimientos crónicos. Estadísticamente la prevalencia de cuadros respiratorios en nuestro país es mayor a otros cuadros clínicos, tan solo en el año 2012 se tiene reporte de cuadros respiratorios como neumonías (15,382 defunciones) e influenza (352 defunciones) (Secretaría de Salud, 2014).

En relación a los materiales de la vivienda se ha encontrado que los porcentajes de aparición de estas infecciones en niños menores de 5 años aumentan en viviendas con pisos de otros materiales diferentes a la tierra, como el caso del cemento y la madera (Hidalgo López, 1990), no obstante, el uso de este material en pisos ha sido manifestado como un indicador de pobreza en diversas fuentes estadísticas. Sin embargo, cabe aclarar que la aparición de enfermedades no depende únicamente de los materiales empleados en la construcción de la vivienda, diversos estudios médicos han atribuido el desarrollo y complicación de las IRAs a otros factores como la combustión de combustibles al interior de los hogares y contaminantes atmosféricos (Carmona, 2009), situación que se relaciona a la climatización realizada por los usuarios, consecuente a una mala ambientación interna de los locales, Romero, et al. (1999, p.260) mencionan de acuerdo a un estudio que:

“Las condiciones socioeconómicas y ambientales presentadas en las (...) comunidades (hacinamiento, ventilación no adecuada, presencia de humo de leña, cambios bruscos de temperatura, etc.) podrían ser consideradas como factores asociados para el desarrollo de enfermedades infectocontagiosas como las IRAs”.

Por tal motivo, las estrategias diseño y materialización de los espacios, así como las costumbres que se tienen en el uso de los mismos, inciden en problemáticas como son el

desarrollo de enfermedades del sistema respiratorio. De igual manera, es probable que a corto plazo, la clasificación de IRAs contemple al recién aparecido SARS-COV-2³⁴, como un agente de infección estacional similar a virus de la gripe e influenza, consideración que queda sujeta a determinaciones propias de las ciencias biológicas y de la salud, sin embargo, es parte de la disciplina arquitectónica plantearse las necesidades específicas de grupos poblacionales que se encuentran en maximización del riesgo, dadas las condiciones precarias de su hábitat y el malestar climático al interior de él (falta de ventilación y luz natural, así como rangos óptimos o cercanos al confort térmico), que conllevan a otras situaciones de peligro ante esta y futuras pandemias.

3.2. Chalchicomula de Sesma en Puebla como objeto de estudio y aplicación

Una de las entidades federativas con mayores índices de pobreza en nuestro país, es el Estado de Puebla con un 58.9% de la población total del Estado bajo esta condición en el 2018 (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), 2020). Según el censo poblacional del año 2015 se contaba con una población total de 6,168,883 habitantes (Centros de Integración Juvenil, 2016), siendo por lo general, la ubicada en zonas rurales que presenta mayores índices de pobreza. Asimismo, la entidad queda enmarcada por algunas de las elevaciones principales del Eje Volcánico Transversal, por lo que existen poblaciones rurales cercanas al Iztaccíhuatl, Popocatepetl, Malinche, Citlaltépetl y la Sierra Negra que presentan condiciones ambientales acordes a su ubicación geográfica.

Una de esas regiones se localiza al oriente del Estado, cuyo territorio puede encontrarse en algunos estudios como Valles Serdán, mismo que comprende diversos municipios con características y expresiones arquitectónicas vernáculas similares. No obstante, dada su amplia extensión territorial, se propone realizar el análisis de una localidad rural conocida por el nombre de Santa María Techachalco, ubicada en las cercanías de Ciudad Serdán, la cabecera municipal de Chalchicomula de Sesma. Cabe mencionar que este municipio a su vez se

³⁴ “Se estima que más del 80% de los pacientes con COVID-19 desarrollan una enfermedad leve o sin complicaciones, aproximadamente el 14% una enfermedad grave que requiere hospitalización y el 5% requiere admisión en una unidad de cuidados intensivos. En los casos graves, puede complicarse con síndrome de dificultad respiratoria aguda (SARS), sepsis y shock séptico, insuficiencia renal y afectación cardíaca. La edad avanzada y la comorbilidad (especialmente enfermedad cardiovascular, diabetes y EPOC) constituyen factores de riesgo de gravedad y muerte” (Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria, 2020, p. 2) Disponible en: <https://gacetamedica.com/wp-content/uploads/2020/03/Criterios-SARS-COV-2-Semfyc.pdf> .

conforma por diez poblaciones cuya cabecera municipal, Ciudad Serdán se encuentra a 2530 msnm, mientras que la población seleccionada para el estudio, Santa María Techachalco, se ubica a 2520 msnm (INEGI, 2009), es decir, prácticamente la misma elevación, salvo que la población analizada se define dentro de lineamientos de lo rural y por consecuente, existen construcciones más dispersas que no facilitan la desaceleración del viento o el calentamiento del mismo mediante la acción de construcciones colindantes, por lo que la sensación térmica acentúa en las edificaciones más endebles.

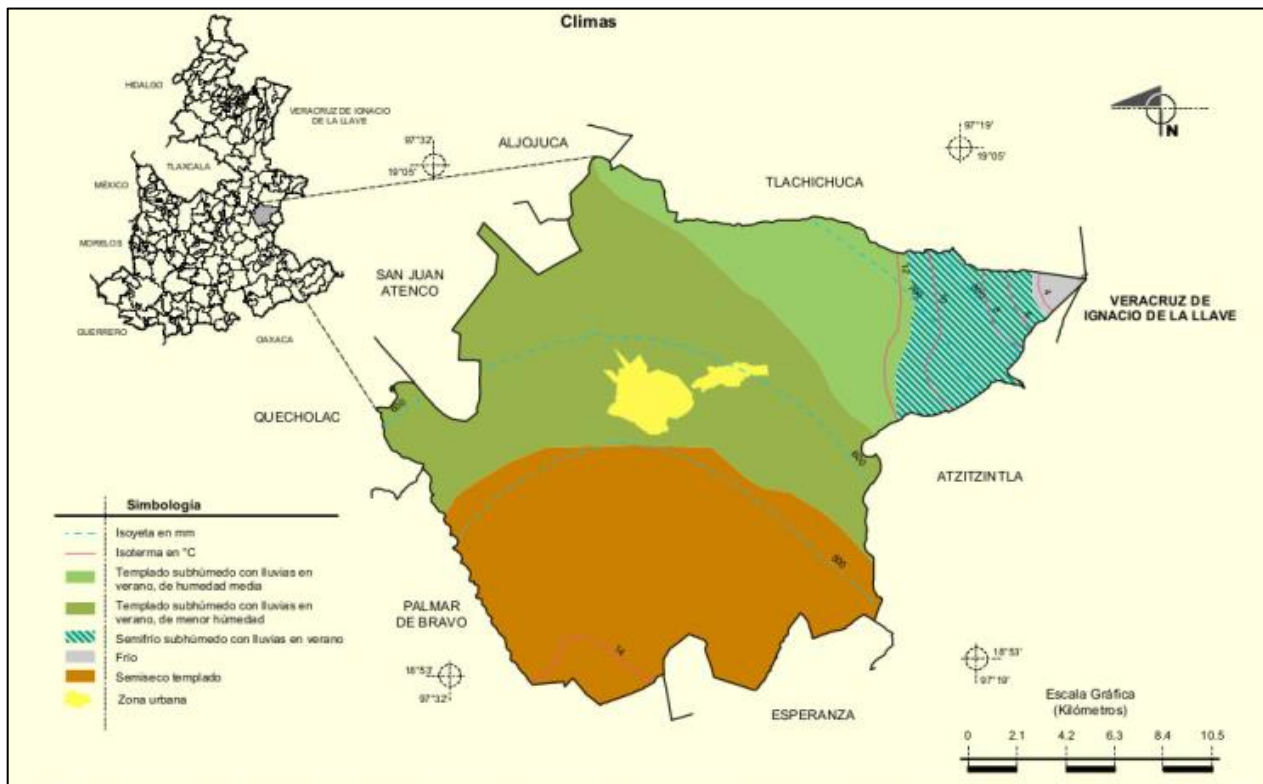


Figura 11. Se muestran los climas existentes en el municipio de Chalchicomula de Sesma, Puebla.

Fuente: INEGI (Prontuario de información geográfica municipal)

Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21045.pdf

De manera general, la *figura 11* muestra la existencia de cuatro climas en el municipio de acuerdo a la clasificación de Köppen: *Semifrío subhúmedo con lluvias en verano C(E)x*, correspondiente a las zonas más elevadas, *Templado subhúmedo con lluvias en verano* -tanto de humedad media C(w1), como de menor humedad Cx-, y *semiseco templado BS1kw*. Siendo el clima semiseco templado (BS1kw) el que se registra en la población de Santa María Techachalco, este clima se caracteriza por ser “templado con verano cálido, temperaturas medias, anual 12° a 18 °C, del mes más frío entre - 3° y 18 °C y del mes más cálido > 18 °C

(...)Régimen de lluvia de verano” (Secretaría de Medio Ambiente (SEMA), 2020), lo que significa que el bioma en el cual se desarrolla esta comunidad presenta vegetación conforme a este clima, como lo son pastizales y matorrales.

Al considerar las cualidades climáticas de la región, se debe entender que salvo en el verano, la precipitación pluvial es limitada, situación que conlleva a que los cuerpos de agua se encuentran secos en las restantes épocas estacionales. Esto se manifiesta en que la dependencia de actividad agrícola temporal se vea afectada en los periodos de baja precipitación y un crecimiento de zonas industriales en las cercanías como consecuencia de esta circunstancia, situación que aunada a las migraciones transnacionales, han influido en los modos de vida y en las tipologías tradicionales de la vivienda que hoy en día han desplazado a los métodos tradicionales de construcción rural de la región, mismos que venían siendo reemplazados desde lo ocurrido en 1973, donde gran parte de las edificaciones tradicionales quedaron afectadas, dando paso a la construcción con block y losas de concreto.

Tal situación fue impulsada en ese momento por el gobierno en turno del acontecimiento sísmológico, ya que posterior a ello, se asignaron viviendas a los pobladores de esta localidad cumpliendo con los requerimientos mínimos de una estancia-comedor, cocina y una recámara. Las viviendas fueron edificadas con muros de tabique rojo recocido y lámina de asbesto como cubierta, de la misma manera, el área de ventilación e iluminación a partir de ventanas se puede percibir como mínimo para los requerimientos necesarios de habitabilidad, a su vez, debe mencionarse que el asbesto es un material poco conveniente para su uso en edificaciones dado el riesgo respiratorio que la inhalación de sus partículas representa, tanto para quienes lo manipulan como quienes conviven con él, ya que desprende fibras menores a 2.5 micrómetros que no pueden ser expulsadas por el sistema respiratorio.

Al aclarar que el ingreso local diario aproximado por persona es de MX\$200.00 pesos diarios, la manufactura de vivienda local se ve afectada, al considerar que modificaciones, ampliaciones y acabados se realizan desde la autoconstrucción, con materiales comerciales y por lo tanto convencionales en la actualidad. Es necesario plantear que en cuanto a costo, tiempos de ejecución y mano de obra, las mamposterías de block de concreto resultan más convenientes a otro tipo de manufacturas, sin embargo, en diversos escenarios de la localidad analizada, se observan demoliciones y ampliaciones posteriores a la edificación inicial, lo que

se traduce en un incremento del costo e incremento de la huella de carbono, consecuencia de una mala planificación arquitectónica.

3.3. Datos climatológicos y valoración del bienestar térmico

De acuerdo a los datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en la localidad de análisis se tiene una temperatura normal máxima (*TNM*) anual de 21.8 °C, normal media (*TNmed*) de 14.5 °C y normal mínima 7.3 °C, se refiere que el mes con la mayor *TNM* es abril con 24.2 °C y menor *TNM* enero con 20.4 °C, resaltando un dato similar a diciembre en el mes de agosto, con 20.4 °C a causa del periodo de lluvias. Respecto a la mayor *TNmed* se ubica en 16.4 °C para el mes de mayo y la menor en 12.5 °C en enero, por su parte la *TNmin* registra su rango más elevado en el mes de junio con 9.8 °C y el menor con 4.7 en los meses de enero, febrero y diciembre (*tabla 2*).

Tabla 2			
Tabla de normales climatológicas			
Estación: Santa María Techachalco			
<i>Temperatura normal</i>			
Mes	T. máxima	T. media	T. mínima
enero	20.4	12.5	4.7
febrero	21	12.8	4.7
marzo	22.9	14.5	6.1
abril	24.2	16.3	8.4
mayo	23.6	16.4	9.3
junio	22.1	16	9.8
julio	21.2	15	8.8
agosto	20.8	14.8	8.8
septiembre	20.9	14.7	8.4
octubre	21.9	14.7	7.6
noviembre	21.5	13.7	5.8
diciembre	20.8	12.8	4.7
anual	21.8	14.5	7.3

Se muestran los valores referenciales de temperatura normal para cada mes del año en la localidad de análisis, de acuerdo a los datos proporcionados por las Normales Climatológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
Realización: autor, 2020, en base a datos de CONAGUA. Disponibles en:
<https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=pue>

En la tabla mostrada se observan los registros promedio de poco más de 50 años, lo que se puede entender como *temperatura normal*, de allí se observan máximos registrados en

promedio por mes (color guinda), donde 24.2 °C de temperatura atmosférica que puede considerarse como favorable para ser aceptada dentro de los parámetros del confort térmico, por lo que en principio, los periodos cálidos no deberían representar un parámetro de malestar térmico significativo si consideramos que entre 21.0°C y 26 °C el cuerpo humano tendrá una sensación térmica agradable. El problema radica cuando existe un periodo del año donde se registran rangos normales T_{Nmed} o mínimos T_{Nmin} , dado que incluso en los meses de marzo a agosto quedan fuera de los rangos térmicos convenientes, situación similar para los registros mínimos de temperatura (color gris) que se convierten en poco favorables para el ser humano.

De igual manera, para conocer datos que no poseemos como lo son el volumen específico del aire o la humedad absoluta, que se requiere de la realización de una *carta psicrométrica*³⁵ con valores locales (*tabla 3*), los cuales son obtenidos de las bases de datos gubernamentales así como recopilados por cuenta propia (caso de HR). Cabe mencionar que esta carta psicrométrica representa únicamente valores generales para evaluación de refrigeración, donde se calcula para el día más cálido del año (primavera) representado en color púrpura y calefacción, calculado para el día más frío del año (invierno), mostrado en color azul. Esta es la circunstancia por lo que no se representan en ella valores de otros días situados en otras estaciones del año, obteniéndose así, los siguientes datos:

1. Temperatura máxima nominal (24.2 °C)
2. Humedad relativa correspondiente a la temperatura máxima (38%)
3. Humedad absoluta correspondiente a la temperatura máxima (0.010 kg agua/kg aire)
4. Volumen específico del aire (0.852 m³/Kg aire)
5. Temperatura mínima nominal (4.7 °C)
6. Humedad relativa correspondiente a la temperatura mínima (54%)
7. Humedad absoluta correspondiente a la temperatura mínima (0.0029 kg agua/kg aire)
8. Volumen específico del aire (0.791 m³/Kg aire).

³⁵“*psicrometría* es la ciencia que involucra las propiedades termodinámicas del aire húmedo, y el efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales y el confort humano. Ampliando aún más, incluiríamos el método de controlar las propiedades térmicas del aire húmedo. Lo anterior, se puede llevar a cabo a través del uso de tablas psicrométricas o de la carta psicrométrica. En una carta psicrométrica se encuentran todas las propiedades del aire, de las cuales las de mayor importancia son las siguientes: 1. Temperatura de bulbo seco (bs). 2. Temperatura de bulbo húmedo (bh). 3. Temperatura de punto de rocío (pr) 4. Humedad relativa (hr). 5. Humedad absoluta (ha). 6. Entalpía (h). 7. Volumen específico” (Díaz del Castillo, 2017, p. 18)

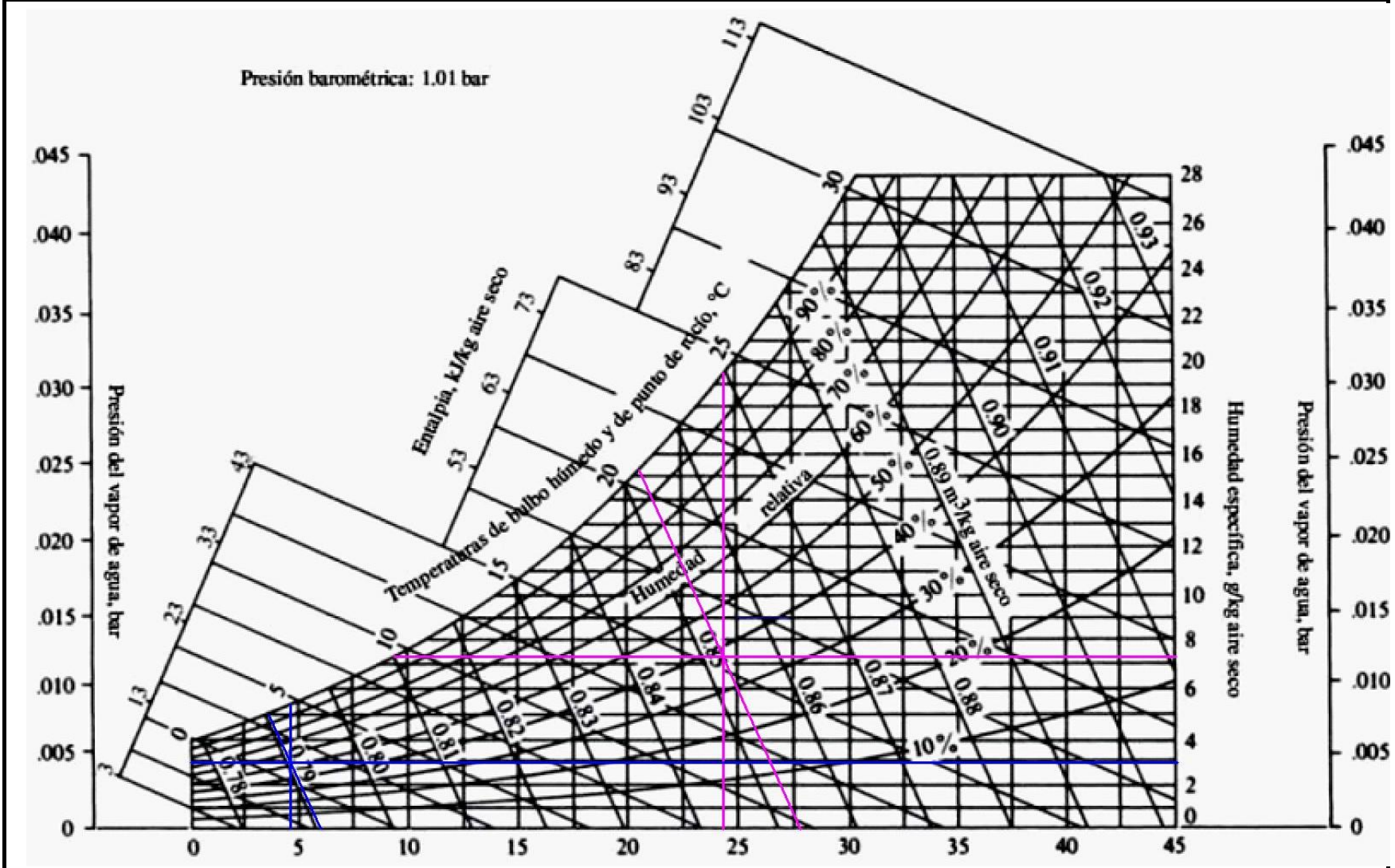
Disponible

en:

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m7/Manual_%20Practicas_LABORATORIO%20DE%20TERMOFLUIDOS_2017-1.pdf.

Tabla 3

Carta psicrométrica para Chalchicomula de Sesma, Puebla



Fuente: Autor en base a Rolle (2006). Año: 2019

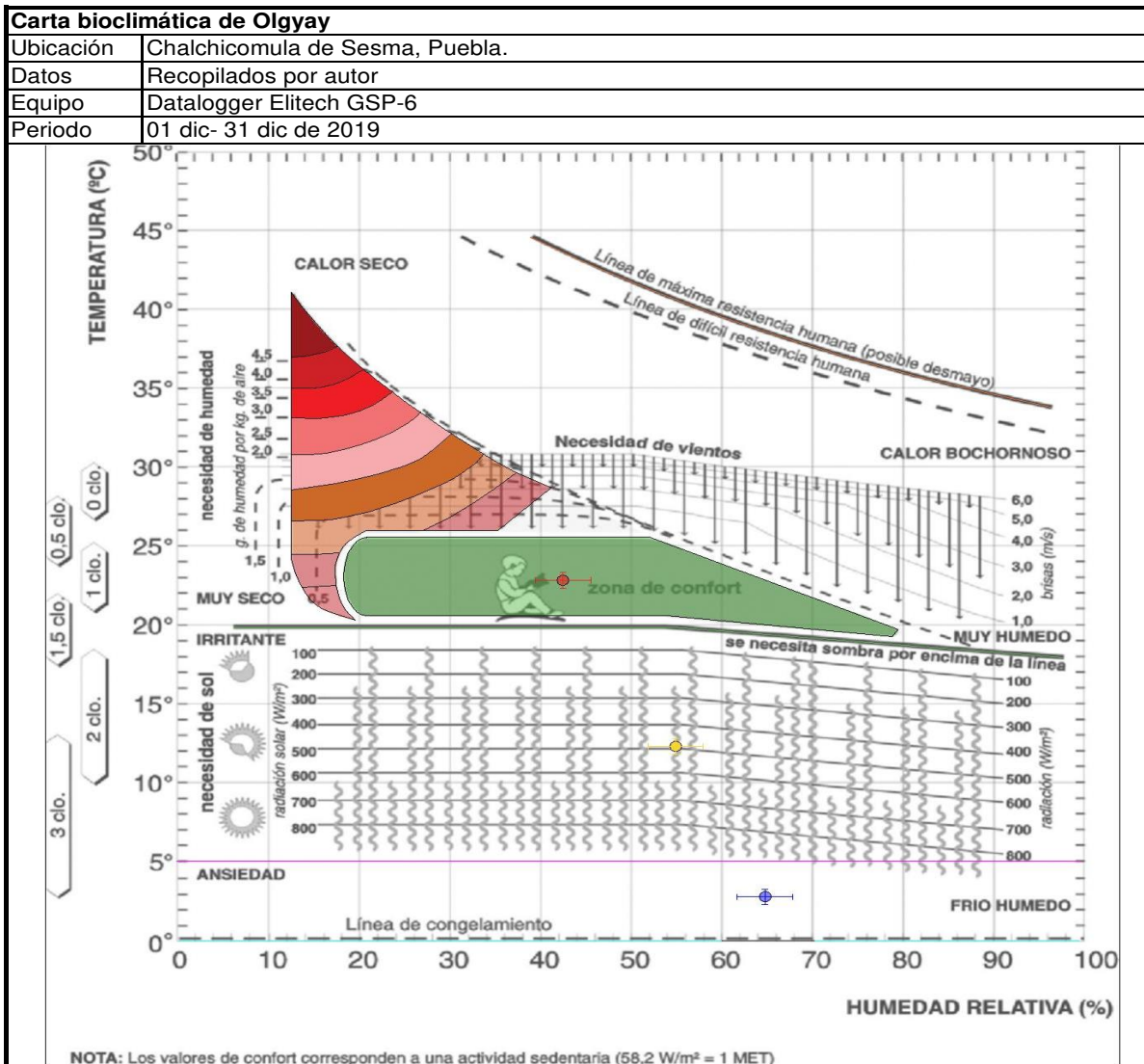
Como tal, estos datos son de utilidad para algunos cálculos de ganancia y pérdida de calor por los materiales utilizados en un local arquitectónico. Sin embargo, para conocer los parámetros de bienestar de la temperatura ambiente local, se opta por utilizar la Carta bioclimática de Olgay, en función de reconocer de manera puntual las características climáticas en los meses evaluados como los de menor temperatura, de acuerdo a CONAGUA. Se menciona que aunque existen otros planteamientos para las estrategias de diseño pasivo, como la Carta de Givoni, se descarta con la finalidad de no extender las variables y incluso recomendaciones de diseño pasivo, ya que la idea central de este análisis se centra directamente en verificar si las edificaciones actuales permiten un buen rendimiento de bienestar a lo largo del día.

El diseño bioclimático y puntualmente la carta bioclimática de Olgay, nos permite visualizar estrategias de diseño pasivo para la configuración de elementos arquitectónicos, de acuerdo a la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa que se presentan en una localidad. Así, al considerar los datos registrados en las normales climatológicas se obtienen los meses con mayor descenso de temperatura, se opta por seleccionar los meses de diciembre, enero y febrero, como los que históricamente registran un promedio menor de $T_{N\text{mín}}$. El equipo empleado para ello es un *datalogger* de la marca *Elitech*® modelo GSP-6®, con rango de incertidumbre en temperatura de bulbo seco (T) de ± 0.5 °C y en humedad relativa (HR) de $\pm 2.0\%$, para registrar los datos correspondientes a estas dos variables en cada uno de los meses ya señalados, la colocación del mismo se realiza en un ambiente exterior, protegiéndolo del sol y de la precipitación pluvial.

Bajo esta circunstancia, se señala que los datos recabados se tomaron a cada hora durante todos los días de los meses señalados, una vez que se obtienen los datos se saca un promedio (\bar{x}) de T y HR , así como máximos y mínimos que se grafican para verificar si las condiciones ambientales de la localidad son propicias para el confort humano, aun cuando no exista un elemento arquitectónico de por medio. Por ejemplo, para el caso del mes de diciembre (*tabla 4*), se tiene una $T\bar{x}=12.3\pm 0.5$ °C, misma que queda fuera de los parámetros de confort, y se requiere entonces de 500 w/m² de radiación solar, a la vez que la persona emplee una cantidad de ropa equivalente a 2 unidades de medida de vestimenta (clo), mientras que en la $T_{\text{mín}}$ y $HR_{\text{mín}}$ registradas se requiere radiación superior a 800 w/m² y 3 clo de vestimenta, quedando la T_{max} y HR_{max} con valores dentro de los rangos de confort humano.

Tabla 4

Carta bioclimática de Olgay para el mes de diciembre



Color	T	HR	Confortable	Observaciones
Yellow	T _{prom} =12.3 °C±0.5°C	HR _{prom} =55.2%±3%	No	1. Se requiere vestimenta de 2 clo. 2. Necesidad de radiación solar aproximada a 500 W/m ²
Red	T _{prom} =12.3 °C±0.5°C	HR _{prom} =55.2%±3%	Si	1. Se requiere vestimenta de 1 clo.
Blue	T _{prom} =12.3 °C±0.5°C	HR _{prom} =55.2%±3%	No	1. Se requiere vestimenta de 3 clo. 2. Frío húmedo 3.- Necesidad de radiación solar superior a 800 W/m ²

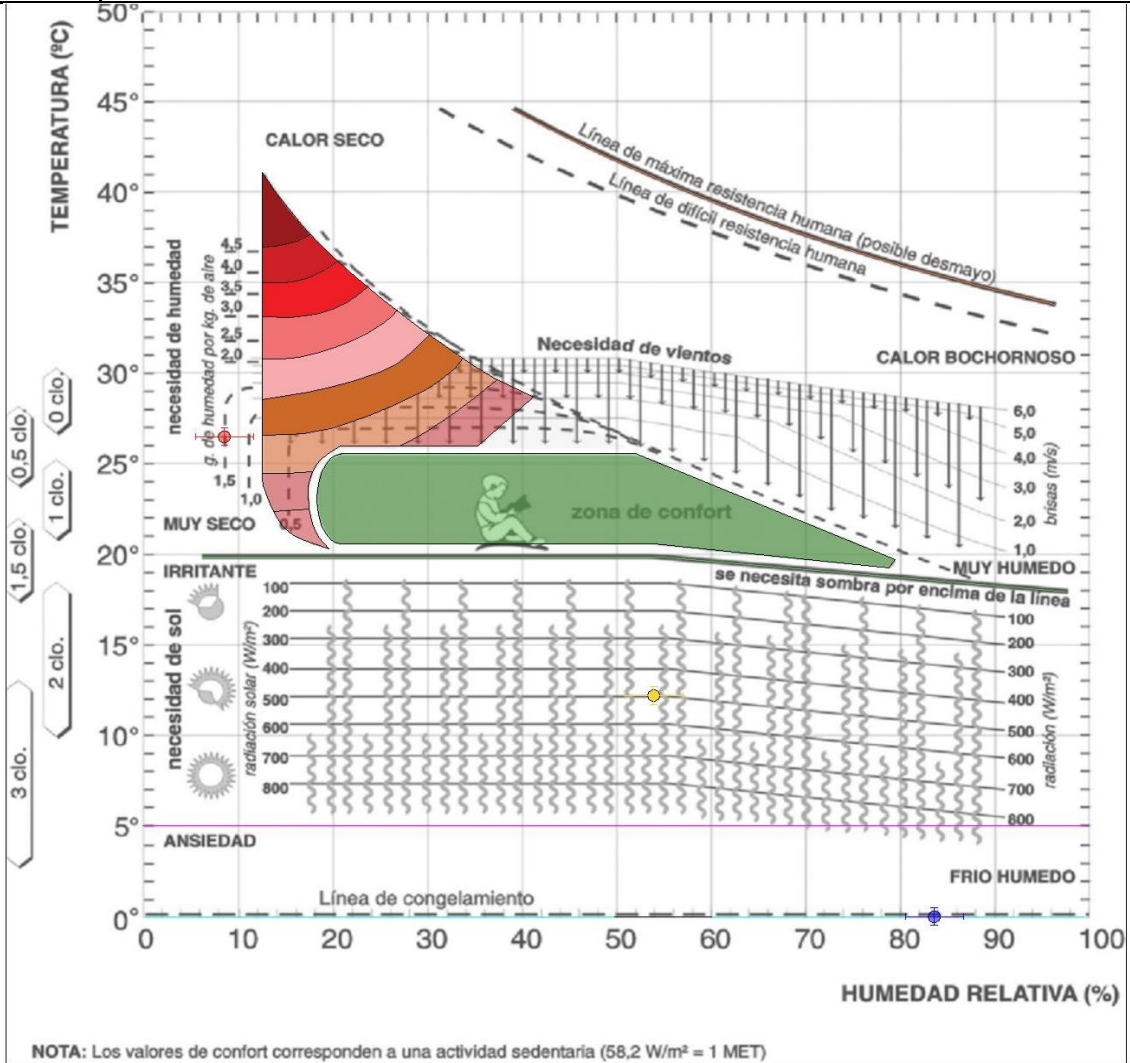
Fuente: Autor, basado en Enrique 2015.

Tabla 5

Carta bioclimática de Olgay para el mes de enero

Carta bioclimática de Olgay

Ubicación	Chalchicomula de Sesma, Puebla.
Datos	Recopilados por autor
Equipo	Datalogger Elitech GSP-6
Periodo	01 ene- 31 ene de 2020



Color	T	HR	Confortable	Observaciones
Yellow	$T_{prom} = 12.1\text{ °C} \pm 0.5\text{ °C}$	$HR_{prom} = 54.3\% \pm 3\%$	No	1. Se requiere vestimenta de 2 clo. 2. Necesidad de radiación solar aproximada a 500 W/m ²
Red	$T_{prom} = 26.6\text{ °C} \pm 0.5\text{ °C}$	$HR_{prom} = 8.9\% \pm 3\%$	No	1. Se requiere vestimenta de 0.5 clo. 2. Necesidad de humidificación 1.5g
Blue	$T_{prom} = -0.9\text{ °C} \pm 0.5\text{ °C}$	$HR_{prom} = 83.4\% \pm 3\%$	No	1. Se requiere vestimenta de +3 clo. 2. Frío húmedo y congelamiento 3.- Necesidad de radiación solar superior a 800 W/m ²

Fuente: Autor, basado en Enrique 2015.

Tabla 6

Carta bioclimática de Olgay para el mes de febrero

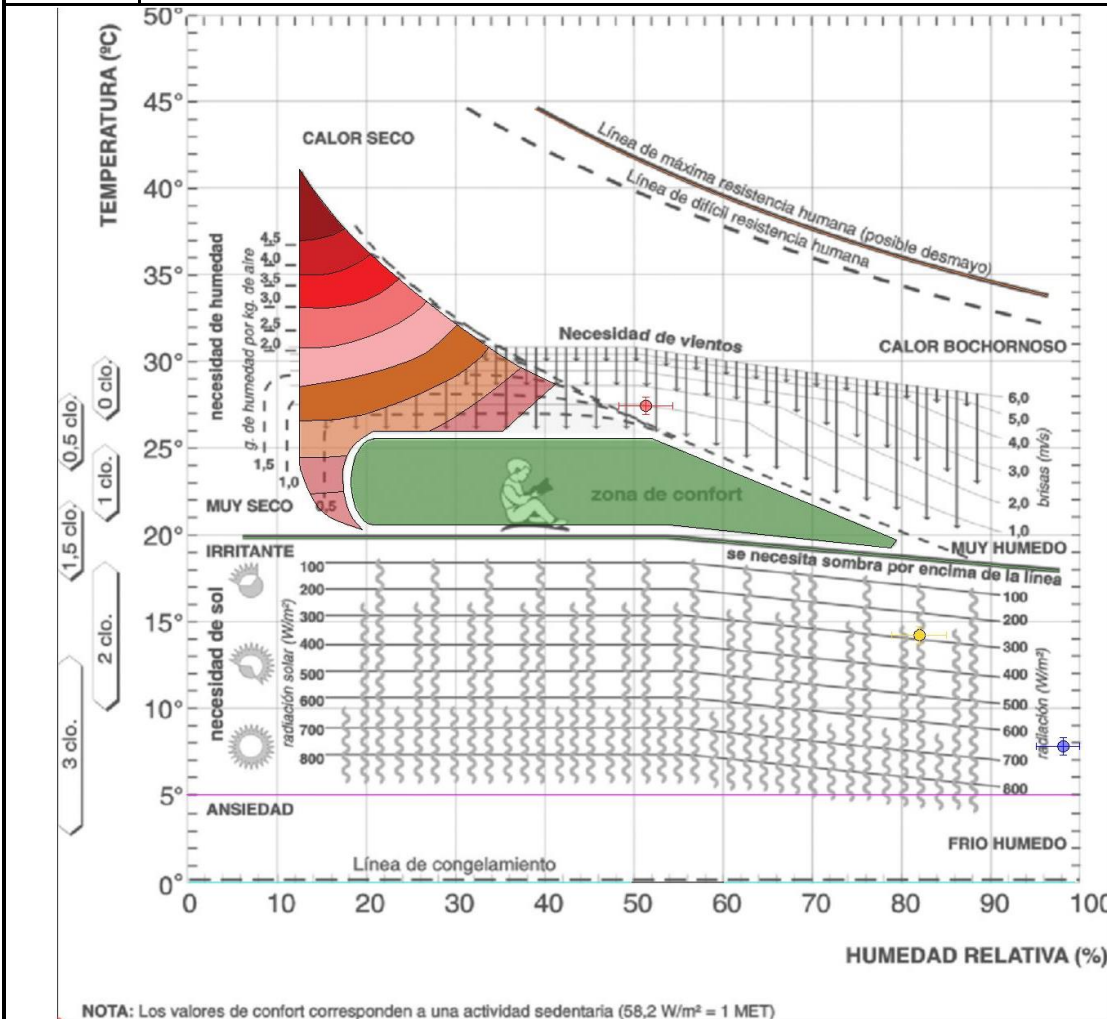
Carta bioclimática de Olgay

Ubicación Chalchicomula de Sesma, Puebla.

Datos Recopilados por autor

Equipo Datalogger Elitech GSP-6

Periodo 01 feb- 29 feb de 2020



Color	T	HR	Confortable	Observaciones
Yellow	$T_{\text{prom}} = 12.1 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$	$HR_{\text{prom}} = 54.3\% \pm 3\%$	No	1. Se requiere vestimenta de 2 clo. 2. Necesidad de radiación solar aproximada a 300 W/m ²
Red	$T_{\text{prom}} = 26.6 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$	$HR_{\text{prom}} = 8.9\% \pm 3\%$	No	1. Se requiere vestimenta de 0.5 clo. 2. Necesidad de viento 1 m/s
Blue	$T_{\text{prom}} = -0.9 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$	$HR_{\text{prom}} = 83.4\% \pm 3\%$	No	1. Se requiere vestimenta de 3 clo. 2. Frío húmedo 3.- Necesidad de radiación solar superior a 650 W/m ²

Fuente: Autor, basado en Enrique 2015.

En la carta de Olgay correspondiente al mes de enero (*tabla 5*), se señala que ninguno de los tres valores referenciales se encuentra dentro de los rangos de confort, existiendo valores de congelamiento para la T_{min} , y la $T_{máx}$ con necesidad de incrementar los valores de humedad, para el caso de la $T_{\bar{x}}$ registrada en el mes se muestra el requerimiento de 500 w/m² de radiación solar, a la vez que la persona emplee una cantidad de ropa equivalente a 2 clo, por lo tanto, este mes en promedio resulta ser el que la peor sensación de bienestar térmico al aire libre ocasiona en la mayoría de los pobladores del lugar. Respecto al mes de febrero (*tabla 6*), se obtuvieron valores de T_{min} con necesidad superior a los 600 w/m² de radiación solar y vestimenta de 3 clo, mientras que para la $T_{máx}$ se requiere de viento para entrar en zona de confort, por otro lado, la $T_{\bar{x}}$ queda también fuera de los rangos de confort, llevando a la necesidad de 300 w/m² de radiación solar y una vestimenta de 2 clo.

Para tales casos, se debe recalcar que los datos obtenidos y las comparativas de necesidades bioclimáticas están en función de la T y HR exteriores, por lo que estas primeras tablas sirven para corroborar que las condiciones ambientales de estos tres meses no se encuentran dentro de parámetros de bienestar humano. Dada esta situación, es necesario planificar o adaptar la vivienda para permitir un clima interior que brinde beneficios a los usuarios, más allá de incomodidades propias que el descenso de temperaturas pueda implicar. Como tal, la vivienda local manifiesta múltiples rasgos de expresión tipológica, y adaptaciones para tener un interior más confortable, estas expresiones se influyen por la forma de vida local, pero también las costumbres, actividades e incluso aspiraciones particulares de los propietarios, por esta condición, se presenta una diversificación que dificulta la clasificación de las viviendas, mismas que serán agrupadas respecto a la manufactura de sus muros.

3.4. Tipología como medio de adaptabilidad climática en viviendas rurales de Chalchicomula de Sesma

Toda vez que se han obtenido datos climatológicos en relación a los parámetros de confort necesarios para la habitabilidad en los meses con mayor descenso térmico de la zona, se procede a clasificar las soluciones históricas recientes que de manera general se han realizado por los habitantes de manera autónoma. Cabe mencionar que es bajo la concepción

*positivista*³⁶ del pensamiento surgen diversificaciones en las ramas del conocimiento. Por consecuente, la expresión rural de la vivienda como una subcategoría dentro de la vivienda y ella a su vez como aquella vivienda autoproducida, puede ser una clasificación válida para el tipo de edificaciones que aquí se analizan, sin embargo, la variable infinita de posibilidades que existe en una solución similar, incluso en una localidad delimitada, dificulta la clasificación de caracteres en el hábitat. Así, al existir una variedad de caracteres formales y funcionales ligados también a la vida productiva local e individual, la decisión por definir a las viviendas según los materiales empleados en la constitución de sus muros radica en que resulta menos complejo agrupar a las mismas a partir de ellos, que su agrupación a partir de materiales, dimensiones, cromática, volumetría, etc.

Asimismo, se debe señalar que una forma de clasificar los objetos arquitectónicos es a partir de valores compositivos o las *tipologías*, para Guerrero (1998), esta última permite llevar a cabo la reducción de la diversidad y la complejidad a un sistema general, ya que el avance tecnológico ha permitido la diversificación y la complejidad de agrupar sistemas constructivos. Por lo tanto, una propuesta de estudio tipológico se conforma por: componentes funcionales, formales, constructivos, semióticos y de emplazamiento, para clasificar elementos arquitectónicos similares. No obstante, dada la variedad de expresiones bajo estos valores que se pueden encontrar en la localidad, la presente caracterización busca sintetizar y manejar de manera genérica las viviendas conforme a la materialidad de sus muros o fábricas, agrupando dos grupos que representan a las técnicas vernáculas y las de manufactura contemporánea.

Dentro de la vivienda vernácula se encuentra la arquitectura realizada con tierra cruda, de acuerdo a relatos de pobladores mayores a 65 años, la técnica del tapial o tierra compactada tuvo un gran auge en la localidad, su realización consistía en colocar cimbras de madera donde se vertía el material de manera vertical, la organización era de carácter familiar o se contrataba a un maestro de obras, se realizaba en periodos con poca lluvia (diciembre a mayo) y los periodos de ejecución eran largos comparados con las mamposterías actuales. De este modo, se relata por los habitantes la ausencia de refuerzos en esquinas, la implementación de cimentaciones de piedra basáltica, así como cubiertas con ocote o lámina metálica. Las viviendas en tapial cuyo testimonio relata fueron las más dañadas y derruidas después del sismo y de 1973, trajo como consecuencia que actualmente no existan registros físicos que

³⁶ Sistema filosófico que admite únicamente el método experimental y rechaza toda noción *a priori* y todo concepto universal y absoluto. (Real Academia de la Lengua Española, 2020). Disponible en: <https://www.rae.es/>

permitan constatar estas fuentes indirectas e incluso, complica la comparativa de los rangos térmicos interiores frente a las edificaciones actuales. Otro tipo de vivienda vernácula en la zona, está relacionado a a las viviendas de carácter rural cuyas fábricas fueron realizadas con rocas *andesitas*³⁷, *dacitas*³⁸ y *basalto*³⁹, mismas que se encuentran presentes en la localidad, el mamposteado se realizaba juntas cuyo material fue el suelo (*tierra*) que en muchos casos no era mezclado con algún otro cementante como la cal, situación que puede haber favorecido la nula resistencia ante fuerzas del evento sísmico (*figura 12*) al tratarse de un suelo en apariencia arenoso.



Figura 12. En los vestigios de una vivienda con mamposterías de piedra y trabes de concreto, se puede observar un ejemplo de incompatibilidad entre materiales que fue una de las causas del colapso de viviendas en el sismo de 1973.

Se debe señalar también, que la vivienda contemporánea tiene una mayor variabilidad en su tipología, siendo la mayor constante la elaboración de muros a partir de mamposterías de

³⁷ La andesita es una roca intermedia de origen volcánico, color gris medio, grano fino. Fuente: http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/Ccias_tierra_tarbuck-Ch4-Rslg.pdf

³⁸ Roca ígnea de color claro (Ramírez y Alejano, 2004). Disponible en: http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

³⁹ Es una roca volcánica ígnea extrusiva de color verde oscuro a negro. Fuente: http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/Ccias_tierra_tarbuck-Ch4-Rslg.pdf

block de concreto con *tepetzil* color blanco como agregado, no obstante, que en cierto momento hayan existido viviendas otorgadas por el gobierno y construidas con muros con tabique rojo recocido, el alto costo de este material provoca que los pobladores no implementen este material como una opción conveniente. De esta manera, y contrario a lo que ocurría con la vivienda vernácula, la ejecución de los trabajos requeridos ya no requiere de la intervención de la familia o dueños de la vivienda, únicamente se encarga el trabajo a un maestro de obras, y de acuerdo al presupuesto familiar, se modifican, añaden o eliminan elementos, es decir, crece de manera progresiva acorde a las necesidades y proyecciones futuras de los usuarios.

Tal condición, origina que la causa principal que determina las condiciones de la calidad de la vivienda en la zona sea el ingreso económico, por lo que al ser la actividad agrícola la principal fuente de ingreso por trabajo local, se debe señalar que esta se clasifica como una de las ocupaciones con menor ingreso a nivel nacional. Para referenciar esta circunstancia se considera que un operador de maquinaria agrícola tiene un sueldo mínimo por ley de \$142.84 (Comisión Nacional de los Salarios Mínimos, 2020), situación que se relaciona al rango entre los MX\$150.00 a MX\$200.00 diarios que los pobladores mencionan ganar en promedio, esta situación determina que las condiciones económicas son poco favorables para invertir en el gasto dirigido al mejoramiento de vivienda.

Y aunque la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) evalúa al municipio con un grado de rezago social bajo, los parámetros gubernamentales de clasificación se enfocan hacia la infraestructura y equipamiento local, exaltando cualidades materiales de la vivienda, donde los realizados desde manufactura industrial son mejor evaluados que los tradicionales por ser evaluados con mayor resistencia ante fuerzas de sismo y viento. Cabe referenciar, que en el sexenio de 2006-2012, se realizó una actualización a los riesgos presentes en este municipio, donde la vulnerabilidad por heladas o descenso de temperaturas está clasificado como medio, el impacto de frentes fríos es de bajo a medio, nevadas como riesgo bajo, al igual que riesgo por velocidad de vientos (SEDESOL, 2011).

Así, el atlas municipal de riesgos encargado de evaluar la fragilidad de las viviendas ante estos fenómenos, se focaliza prioritariamente en los sismos y huracanes (fuerzas por viento), que de acuerdo al *Índice de Vulnerabilidad Física de la Vivienda (IVF)*⁴⁰ que refiere SEDESOL,

las viviendas de manufactura contemporánea se encuentran mejor evaluadas en comparativa con las viviendas tradicionales catalogadas como adobe (tabla 7), clasificación que probablemente englobe a las edificadas con tierra pisoneada.

Tabla 7			
Evaluación de riesgos de acuerdo a los materiales de edificación de la vivienda		Calificación de la vivienda para sismo	Calificación de la vivienda para viento
Tipo	Características de la vivienda	S1	V2
1	Muros de mampostería con techos rígidos. Normalmente cuenta con cimentación, construida con zapata corrida de concreto o de mampostería.	1	1
2	Muros de mampostería con techos flexibles. Su cimentación, es construida con zapata corrida de concreto o de mampostería.	2.3	2.5
3	Muros de adobe con techo rígido, su cimentación, cuando existe, es de piedra.	3.6	2
4	Muros de adobe con techos flexibles. Su cimentación, cuando existe, es de mampostería.	4	5.5
5	Muros de materiales débiles con techos flexibles. Generalmente no cuenta con cimentación.	3.3	7.6

De acuerdo al CENAPRED, existen cinco clasificaciones de la vivienda de acuerdo a su materialidad. Se percibe que no existe un apartado referente a la vulnerabilidad térmica en las viviendas. Fuente: Atlas de Riesgos del Municipio de Chalchicomula de Sesma, Disponible en: http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2011/vr_21045_AR_Chalchicomula_Sesma.pdf

Destaca que para la valoración del CENAPRED, no se contemplan las cualidades enfocadas a la vulnerabilidad térmica, es decir, las condiciones propicias dadas por la vivienda para el bienestar térmico de los usuarios, situación que es poco abordada en nuestro país debido a que no son comunes las tormentas de nieve en gran magnitud equiparables a las de

⁴⁰ El índice tiene la forma:

$$I_{vf} = \frac{V_i P_i}{V_p P_M}$$

I_{vf} = Representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la vivienda.

V_i = Representa la calificación según el tipo de vivienda de acuerdo con los valores de las columnas S1, V2 de la tabla "Tipos de vivienda según información de INEGI".

V_p = Es la vivienda con el peor desempeño en relación a su vulnerabilidad de la tabla.

P_i = Es el nivel de peligro por sismo o viento en la zona de estudio. (De acuerdo a la zonificación a nivel nacional el municipio de Esperanza se encuentra en la zona B). P_m = Es el nivel de peligro máximo por sismo o viento. (De acuerdo a la zonificación a nivel nacional) (SEDESOL, 2011, p.71).

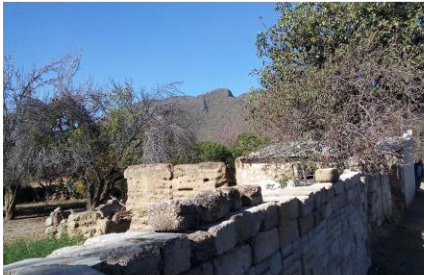

otras regiones del planeta. No obstante, se debe señalar que entidades federativas ubicadas en el norte y centro del territorio nacional, presentan afecciones por el descenso térmico en época invernal, que si bien, no se traducen regularmente en fenómenos naturales como tormentas de nieve, los índices de descenso térmico y variaciones en la HR, son factores perjudiciales para la salud y la comodidad de los habitantes con su entorno, mismos que se incrementan cuando no existe una vivienda adecuada que prevea de bienestar en el desarrollo de sus actividades.

Por ello se realizó un recorrido en la región de la investigación, tanto en su cabecera municipal como juntas auxiliares y municipios colindantes, donde se pudo constatar que existe destrucción, abandono y prácticamente desaparición de las fuentes primarias de edificaciones con tierra cruda, se señala que en los pocos vestigios encontrados, la técnica predominante es el *tapial* o *tierra compactada*, de igual manera, es importante mencionar que existe confusión por parte de los pobladores del lugar para reconocer las diferencias entre la técnica de *tapial* y la del *adobe*, situación que ha incidido en su valorización como patrimonio tangible.

Igualmente, se debe mencionar que no se ubicó a la técnica de adobe como una manifestación predominante en la manufactura de muros locales, aunque debido a las circunstancias en las que se percibe la desaparición del sistema de *tapial*, es altamente probable que de haber existido, los vestigios de manufacturas en adobe hayan desaparecido. De la misma manera, se percibe una materia prima (suelo) con dominio de granulometrías arenosas, misma que no es conveniente para dicha técnica, por lo que no se le puede aseverar como una técnica predominante, aún cuando en diálogo con los pobladores se refiere a las construcciones en *tierra cruda* como “casas de adobe”, una vez que se refiere por parte de ellos los procesos constructivos, se determina un predominio de la técnica de *tapial* como manifestación en *tierra cruda*.

Otra de las manifestaciones constructivas vernáculas de la cual sí existen vestigios, es la mampostería en *piedra seca*, de igual manera, se repiten los problemas de conservación existentes en las construcciones con *tapial*, ya que para este caso específico, muchas de las fábricas fueron empleadas para cimentaciones de viviendas contemporáneas. Así, se presenta una clasificación general de las expresiones de vivienda rural local, caracterizándolas a partir de su manufactura en muros y agrupándolas en dos grupos de vivienda que son: vernácula –*tapial* (*tabla 8*), *piedra seca* (*tabla 9*)- y contemporánea -*tabique rojo* (*tabla 10*) y *block de concreto* (*tabla 11*)

Tabla 8
Ejemplo de vivienda vernácula

Imágenes		Zonificación		
	Tipo de propiedad	Privada		
	Periodo de edificación	Mediados del siglo XX		
	Ubicación	Tlachichuca, Puebla (19 km de distancia de la localidad)		
	Elementos constructivos originales			
	Cimentación	Piedra		
	Fábricas	Muros de tapial (material arenoso)		
	Cerramiento	Piedra		
	Cubierta	Ocote (actualmente lámina metálica)		
	Programa arquitectónico			
		Exterior	Interior	
	Estancia	No cuenta		
	Patio central	No cuenta		
Cocina		X		
Comedor	No cuenta			
Dormitorios		X		
Graneros	X			
Bodega herramientas	No cuenta			
Corrales	X			
Observaciones		Estrategias de acondicionamiento térmico		
<p>Se refiere que al no existir en la localidad de estudio, ejemplos de la arquitectura en tierra, y tras los relatos de los pobladores de la comunidad, se toma como referente una vivienda localizada en el municipio de Tlachichuca, el cual colinda con el municipio que se está estudiando. En la vivienda se pueden observar espesores de las fábricas de 60.0 cms en promedio, altura de 2.35m. En cuanto a la ocupación del espacio, se percibe el predominio de la horizontalidad, así como el uso de areas exteriores para el trabajo agrario, resalta un area confinada por los muros dedicada al descanso y a la elaboración de alimentos, la actividad agrícola determina la necesidad de llevar una vida al exterior, por lo tanto, actividades como comer o guardar instrumentos y animales se realizaban al exterior.</p>		<p>Masa térmica, se cuenta con ganacia de radiación solar estimada de 900w/m2 en la fachada sur. Fachada oriente y poniente cuentan con radiación solar aproximadamente en 5 horas al día cada una.</p>		

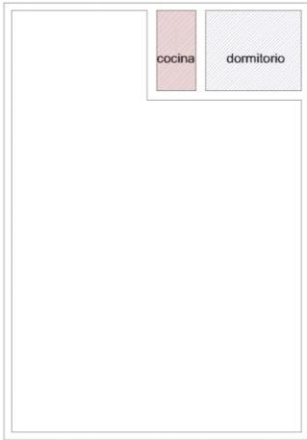






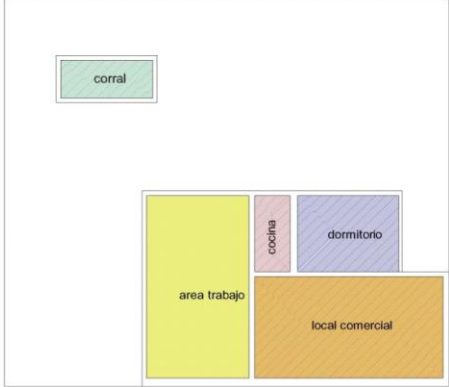
Tabla 9
Ejemplo de vivienda vernácula

Imágenes		Zonificación	
	Tipo de propiedad	Privada	
	Periodo de edificación	Mediados del siglo XX	
	Ubicación	Santa María Techachalco	
	Elementos constructivos originales		
	Cimentación	Piedra	
	Fábricas	Piedra (basalto y andesita)	
	Cerramiento	Piedra	
	Cubierta	Ocote y lámina metáica	
	Programa arquitectónico		
		Exterior	Interior
Estancia	No cuenta		
Patio central	Si cuenta		
Cocina	X		
Comedor	X		
Dormitorios		X	
Graneros	X		
Bodega herramientas	X		
Corrales	X		
Observaciones		Estrategias de acondicionamiento térmico	
<p>Esta vivienda es uno de los pocos vestigios materiales que quedan en la región de manera fiel a el tipo de vida rural que aconteció en la localidad hasta poco más de mediados del siglo pasado, actualmente se encuentra deshabitada, situación que dificulta un analisis mas enfático en este tipo de vivienda. No obstante, una inspección desde el exterior permite constatar la distribución así como espacios destinados a las diversas actividades, por otro lado, se menciona que la altura promedio es de 2.20 metros</p>		<p>Masa térmica, la orientación de las fachadas con dimensión mayor hacia el sur determina una mayor ganancia de radiación solar la mayor parte del día en esa zona.</p>	

Fuente: Autor. Año: 2019

Tabla 10


Ejemplo de vivienda rural contemporánea

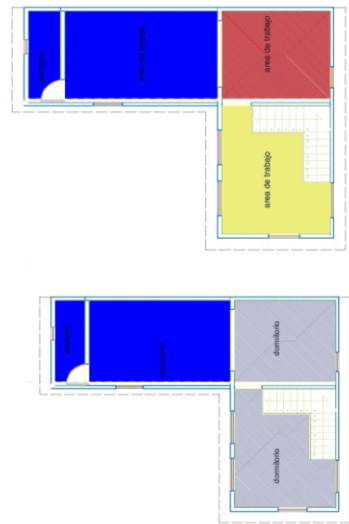
Imágenes		Zonificación		
	Tipo de propiedad	Privada		
	Periodo de edificación	1975		
	Ubicación	Santa María Techachalco		
	Elementos constructivos originales			
	Cimentación	Piedra		
	Fábricas	Mampostería tabique rojo/ cemento		
	Cerramiento	-		
	Cubierta	lámina de asbesto y vigas de madera		
	Programa arquitectónico			
			Exterior	Interior
Estancia			X	
Patio central			X	
Cocina			X	
Comedor			X	
Dormitorios			X	
Graneros		X		
Bodega herramientas		X		
Corrales	X			
Observaciones		Estrategias de acondicionamiento térmico		
<p>La vivienda se distingue por componerse en dos núcleos, el primero que cuenta con una estancia, cocina y dormitorio, que data de la década de 1970, fue donada por el gobierno después del evento sísmico. La segunda de una ampliación realizada con mamposterías de block de cemento y tepetzil, donde actualmente se encuentra un área destinada a una máquina de trabajo y resalta un sobrecimiento de piedra.</p>		<p>No las contempla</p>		
				

Fuente: Autor. Año: 2019

Tabla 11

Ejemplo de vivienda rural contemporánea

Imágenes		Planta		
	Tipo de propiedad	Privada		
	Periodo de edificación	2005		
	Ubicación	Santa María Techachalco		
	Elementos constructivos originales			
	Cimentación	Concreto		
	Fábricas	Block macizo de concreto		
	Cerramiento	-		
	Cubierta	Concreto		
	Programa arquitectónico			
		Exterior	Interior	
	Estancia		X	
	Patio central	No cuenta		
	Cocina		X	
	Comedor		X	
	Dormitorios		X	
Graneros		X		
Bodega herramientas		X		
Corrales	X			
Observaciones		Estrategias de acondicionamiento térmico		
<p>La vivienda es de reciente manufactura y se realizó de manera autónoma, la edificación es ejemplo del fenómeno reciente en donde el habitat rural se desvincula por completo de las tipologías tradicionales, más no así los usos, por ejemplo, en un local cercano a la cocina se destinan usos para el guardado de granos, trabajos y guardado de algunas herramientas. Así, este tipo de vivienda que en cuanto a materiales, forma y espacialidad, llega a reemplazar a la vivienda vernácula, se encuentra ligada a la satisfacción de preceptos sociales en que se niega a la ruralidad como esencia, aún cuando el fin del objeto es servir para actividades ligadas a lo agrícola.</p>		<p>No las contempla</p>		



Fuente: Autor. Año: 2019

En las *tabla 8* se puede constatar que una parte esencial del modo de vida dedicado a la actividad agrícola destina sus actividades diarias principalmente a tareas que se ejecutan en exteriores, por lo que espacios para el descanso y la cocina quedan delimitados a locales con poco uso de superficie, de acuerdo a fuentes orales, hacia mitad del siglo XX actividades como comer o esparcimiento familiar y comunitario se realizaban incluso en espacios exteriores, por lo que es posible que la vivienda mostrada como ejemplo posea una estructura de distribución original. Se menciona también que las fábricas mostradas tanto en el ejemplo como en otros vestigios encontrados no cuentan con algún tipo de enlucido, se refiere en la mayoría de los casos, el acabado era una lechada de cal, esta situación implica que las estructuras se encontraban endebladas al no recibir un constante mantenimiento, lo que se vincula con una alta exposición ante agentes patógenos como la humedad o elementos bióticos.

De igual manera, aunque es una técnica predominante en las edificaciones del casco antiguo de Ciudad Serdán, fundado en el periodo virreinal, la accesibilidad a diferentes rocas ígneas producto de erupciones volcánicas de miles de años, facilitó la implementación de la técnica de mamposteado en *pedra seca* en viviendas rurales de las poblaciones aledañas. En relación a esta técnica Camacho (2008, p.10) menciona que:

“Las construcciones en *pedra seca*, tienen un enorme valor etnológico, nos muestran la manera de vivir, trabajar e incluso de subsistir de hombres que lucharon para sobrevivir en unas tierras poco fértiles, en unas condiciones socioculturales duras y abocados al abandono de la mismas por su escasa rentabilidad económica. La *pedra seca* como una lucha constante del hombre ante la naturaleza, una lucha por incrementar las superficies de cultivo y una lucha que garantizaba la sostenibilidad de los espacios, un término tan en boga en la actualidad y que en aquellos tiempos se convertía en la razón de ser diaria de los lugareños”.

Bajo esta perspectiva, se debe referenciar que la región está caracterizada por poseer un clima semiseco, por lo tanto, aunque la principal actividad ocupacional sea la agricultura, el suelo se caracteriza por ser poco fértil, es posible que la manufactura vernácula de la vivienda se relacione con la intimidad del ser humano con el hábitat y su conexión a entorno natural, situación que es constante en todas las manifestaciones culturales de la habitación humana, pero también, determinadas técnicas están confinadas a cierto tipo de actividades o entornos ambientales similares en varias latitudes globales, por lo que existen coincidencias y similitudes

aun cuando pudiera no existir relación directa alguna. Esta caracterización hace revalorar a las manifestaciones arquitectónicas aquí desarrolladas y llevarlas a un escenario de valorización patrimonial, puesto que su expresión contempla rasgos particulares que pueden no repetirse en otra zona del país.

Una de las manifestaciones que se desarrolla en la comunidad a partir del evento sísmico en la segunda mitad del siglo XX, cuyo epicentro tuvo como origen a Ciudad Serdán, es la construcción a partir de mamposterías de tabique rojo recocido, mismas que al tratarse de edificaciones cuyo fin es la producción en serie para cumplir con la demanda de hábitat por personas afectadas, estas se realizan bajo criterios donde se homologan las actividades a estancia cocina-comedor y dormitorio, cabe mencionar que el uso de sanitarios no queda dentro del programa arquitectónico de esta vivienda, al considerar que el uso de baños secos era predominante y una costumbre cultural en la localidad. De igual manera, era escaso el destinar un espacio para el aseo personal mediante el baño, misma actividad que se tomaba incluso al aire libre, cercano a las piletas de agua.

Dadas esas circunstancias, la superficie del hábitat queda confinada a espacios interconectados entre sí, donde el nexo mediante un espacio exterior similar a un patio central desaparece y esta situación se convierte en un elemento interno a la comunidad que comienza a transformar ciertos modos de habitabilidad. Sin embargo, esta situación también hace visible que las necesidades propias de las actividades de los usuarios llevan a modificar sus viviendas, considerando que existen ampliaciones y modificaciones, adecuándolas al desarrollo de su vida diaria.

Respecto a la vivienda que emerge desde las últimas décadas de la segunda mitad del siglo XX y ha desplazado casi en su totalidad a la vivienda vernácula, misma que se edifica a partir de block de concreto y cuya cubierta puede ser de lámina metálica o de concreto armado, se debe señalar que dos de los factores que determinan su proliferación surgen del bajo costo y tiempo de manufactura. Aunado a ello, la noción social del progreso a partir de la implantación de medios de vida semejantes a la vida urbana, traen consigo, la extensión de infraestructura como agua potable, drenaje y luz eléctrica hasta la localidad, por lo tanto, los espacios de la vivienda tradicional tienden a compactarse y aparecen espacios que antes no eran considerados, tal es el caso del área destinada a sanitario que ya se integra con la vivienda

actual, asimismo, la estancia es un local que cada vez más se apropia de la nueva conformación de la vivienda rural local.

Sin embargo, uno de los conflictos que se evidencian en estas viviendas de constitución actual es la falta de iluminación natural y como consecuencia ventilación, situación ocasionada como medio de pasivo de climatización ante el malestar térmico en espacios interiores en la época de frío, de igual manera, aunque por días anuales menos señalados, los días de mayor incremento térmico ocasionan fatiga del organismo humano. Situación que puede mejorar la sensación térmica ya que en ambos casos, tanto la falta de humedad o su incremento, son perjudiciales a los usuarios pero también, a la conservación de la edificación misma. En relación a la humedad (Rodríguez, 2012, p.5) menciona que:

“...el aire contiene siempre cierta cantidad de vapor, mayor mientras mayor es la temperatura. Este vapor-gas es invisible pero se hace patente en forma de agua líquida cuando se condensa. Y es el agua líquida la dañina para los materiales, no el vapor. Cuando en el exterior hace frío el riesgo de condensación aumenta especialmente sobre las superficies interiores de muros, ventanas y techos térmicamente mal aislados y que dan al exterior”.

Por tal motivo, la mala circulación del mismo, al coincidir con las bajas temperaturas que se presentan en esta región, inciden en la presencia de humedad al interior de las viviendas de manera generalizada, pero también y como se verá más adelante, la persistencia de índices de Humedad Relativa en locales interiores, aunada a una mala adecuación de las viviendas hace que existan rangos superiores al 85%.

Bajo estas circunstancias, se determina como prioridad enfocar la investigación a la vivienda clasificada en esta tesis como contemporánea, dado que actualmente tiene un amplio predominio y la reconstrucción o adecuación de vivienda es una opción poco viable dado el costo monetario que ello implicaría. Así, la opción de mejorar las condiciones de habitabilidad sobre las edificaciones ya existentes, mediante la elaboración de elementos de aislamiento de bajo costo y manufactura sencilla, resulta una opción más viable.

3.5. Adaptabilidad al clima de la vivienda rural en la localidad

Una de las limitantes que se encuentran en la realización de un análisis comparativo en cuanto a la percepción de confort térmico que pueden propiciar las técnicas ya mencionadas, es la falta de vestigios edificados en el caso de la arquitectura en tierra compactada, así como el desuso, mutilación o modificaciones que alteran la esencia de la arquitectura en *pedra seca*. Por tal motivo y dada la diversidad de la actual vivienda rural contemporánea, se propone una etapa previa de reconocimiento y comparación entre las manifestaciones de vivienda que se han desarrollado en la localidad.

Una vez que se ha realizado un recorrido por la comunidad, se reconoce que existe un grupo de habitantes los cuales informan haber habitado principalmente las viviendas edificadas en *tierra cruda*. Uno de los problemas que se encuentran es la confusión que existe en la población al considerar que a la arquitectura edificada con este material, se le conoce como “adobe”, por lo que al cuestionar y verificar con un número amplio de personas se deduce que la técnica realizada en esta localidad fue el tapial. Una vez definida esta circunstancia, se decide realizar encuestas de campo a una muestra de personas en la comunidad, cuya edad es superior a los 60 años, y que reconocen haber habitado o frecuentado los cuatro tipos de vivienda en algún momento de su vida. Así, se recolecta información en la cual se pregunta a las personas el rango de satisfacción térmica que recuerdan haber tenido en el caso de la vivienda vernácula y su sensación respecto a las viviendas actuales, para meses cálidos (*tabla 12*) y para meses fríos (*tabla 13*).

Para tal valoración, se utilizan los rangos de confort de acuerdo al Voto Medio Estimado (PMV) de Fanger, no obstante, la muestra poblacional que se estudia es limitada y los espacios a los que se refieren son indeterminados y como consecuencia variables, únicamente se propone evaluar la percepción tanto para los meses con mayor incremento térmico atmosférico como los de mayor descenso. Tras la toma de datos, se observa que para los meses cálidos, los muros de tierra compactada o tapial, presentan una mayor percepción agradable de los espacios interiores, los muros de *pedra seca* por su parte, aunque con menos incidencia dentro del rango de percepción confortable, muestran una tendencia similar, siendo los muros de block macizo los que mayor perceptibilidad de calor al interior se tiene cuando existe la necesidad de enfriar los espacios.

De igual manera, en periodos de descensos térmicos, los muros de tapial fueron considerados como los más generosos en cuanto al grado de confort, siendo los muros de tabique rojo los que también denotaron una percepción medianamente favorable, en tanto que las viviendas con muros de block macizo no fueron evaluadas de manera favorable, mientras que la *piedra seca*, una técnica que predomina en la cabecera municipal fue valorada como la menos favorable.

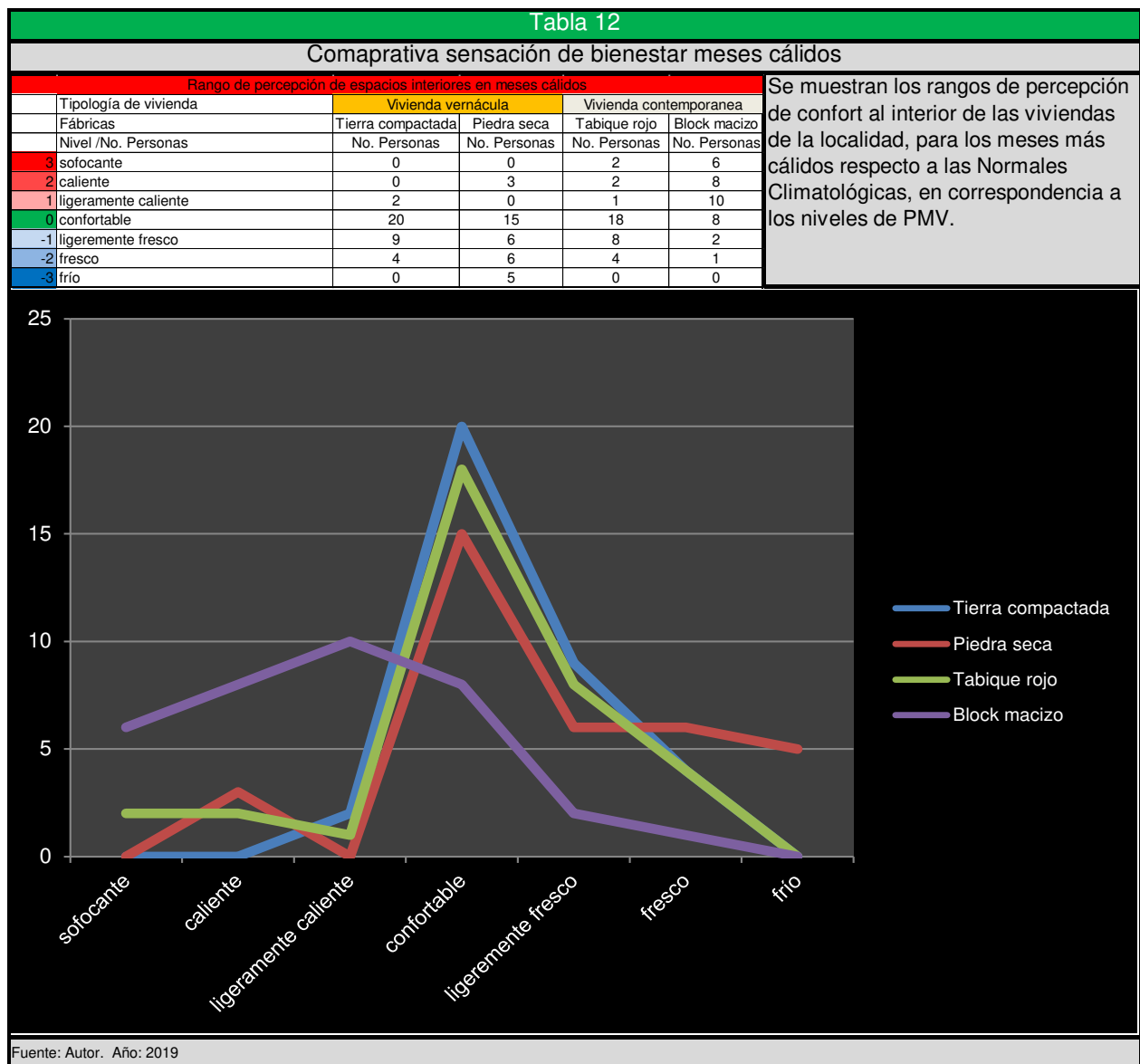
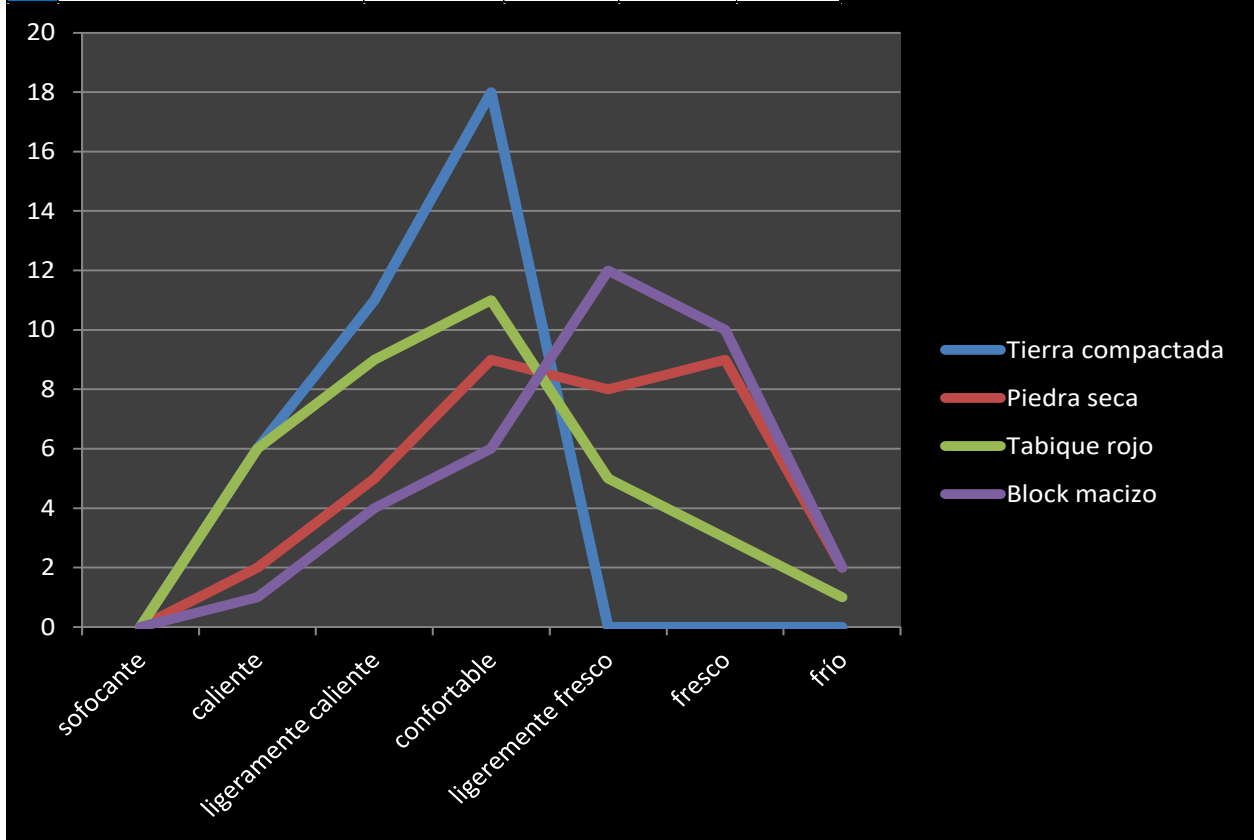


Tabla 13

Comparativa sensación de bienestar meses fríos

Rango de percepción de espacios interiores en meses fríos				
Tipología de vivienda	Vivienda vernácula		Vivienda contemporánea	
Fábricas	Tierra compactada	Piedra seca	Tabique rojo	Block macizo
Nivel /No. Personas	No. Personas	No. Personas	No. Personas	No. Personas
3 sofocante	0	0	0	0
2 caliente	6	2	6	1
1 ligeramente caliente	11	5	9	4
0 confortable	18	9	11	6
-1 ligeramente fresco	0	8	5	12
-2 fresco	0	9	3	10
-3 frío	0	2	1	2

Se muestran los rangos de percepción de confort al interior de las viviendas de la localidad, para los meses más fríos respecto a las Normales Climatológicas, en correspondencia a los niveles de PMV.



Fuente: Autor. Año: 2019

Bajo estas circunstancias, se puede enfatizar que la arquitectura en tierra es considerada entre los cuestionados como la de mayores *cualidades térmicas*, uno de los factores que pueden haber influido es la solución de las mismas a partir de una envolvente con *masa térmica*, sin embargo esta solución también responde a las edificaciones en piedra seca, mismas que fueron evaluadas con un funcionamiento aceptable en los meses cálidos, más no así para los meses fríos. En cuanto a las mamposterías contemporáneas, existe una mayor aceptación hacia las realizadas con tabique rojo, siendo el block macizo el que menores

sensaciones de confort genera en los usuarios, no obstante es el material más implementado por su fácil acceso y costo.

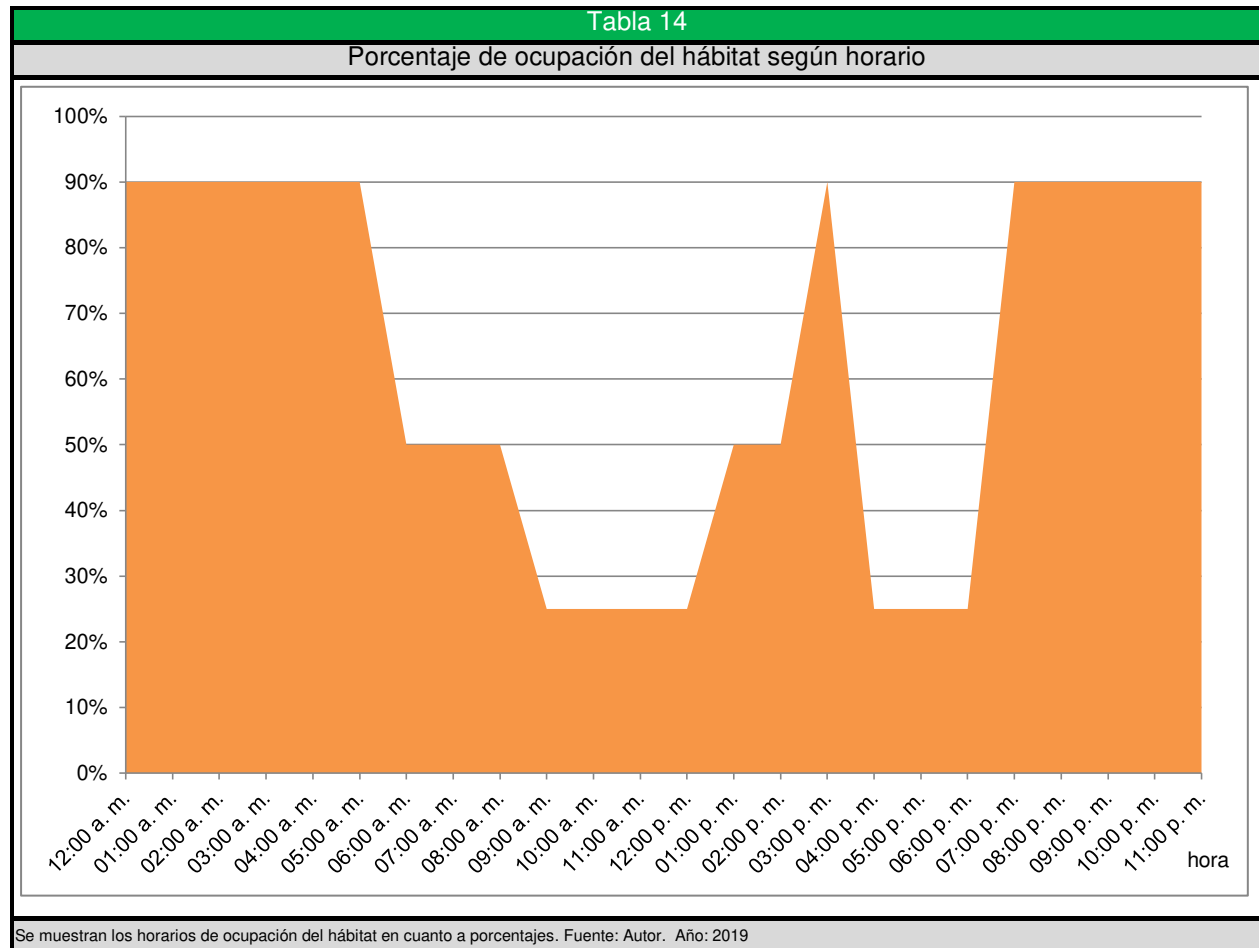
Cabe mencionar que los datos recolectados a través de fuentes orales poseen cierta subjetividad, por ejemplo, uno de los elementos edilicios que permite mayor flujo y pérdidas de calor es la cubierta, misma que no se contempla en esta recopilación de datos y cuya materialidad puede haber influido en las circunstancias de confort, asimismo, el uso de las viviendas vernáculas por las personas censadas aconteció en la primera edad de su vida, es decir antes de los 30 años y el uso de viviendas contemporáneas es posterior a esa edad hasta la actualidad, por consecuente esta circunstancia influye en el metabolismo, mismo que es uno de los parámetros que influyen en la sensación de comodidad con el ambiente. También se debe señalar que anteriormente los habitantes por vivienda eran superiores a los de hoy, al igual que el almacén de granos ocurría en espacios interiores, por lo que todas estas circunstancias pueden haber influido en una mejor percepción térmica.

3.6. Consumo energético como parámetro del bienestar

Si bien, el consumo eléctrico en una vivienda depende de múltiples factores, como el estilo de vida de sus ocupantes y con ello las tareas que en el ejecuta, también es un indicador indirecto de los niveles de comodidad que existan en él, ello debido a que entre menor satisfacción con su entorno se tenga, se tiende a accionar lámparas (para el nivel de incomodidad visual) o equipos mecánicos de acondicionamiento (para el caso de incomodidad térmica). Pero es en este último escenario donde la necesidad lumínica también se ve involucrada, ya que la luz como elemento energético es capaz de irradiar calor, así como en el aspecto psicológico también se percibe como un ambiente más cálido cuando existen fuentes de luz amarilla.

Dado que se ha observado una prevalencia de las viviendas edificadas con mamposterías de block de concreto, se toma una muestra donde se encuesta a los habitantes de los hogares sobre el nivel de ocupación de la vivienda, es decir, cuál es su porcentaje de ocupación para un día promedio en una vivienda con un aproximado de 5 usuarios (*tabla 14*), se señala que no se contempla el 100% o total, debido a que eventualmente puede haber casos en que alguno de los habitantes no se encuentre. Así, se puede observar que los periodos de mayor ocupación ocurren principalmente en los periodos de puesta de sol y entre 2:00 y 3:00 pm que es cuando

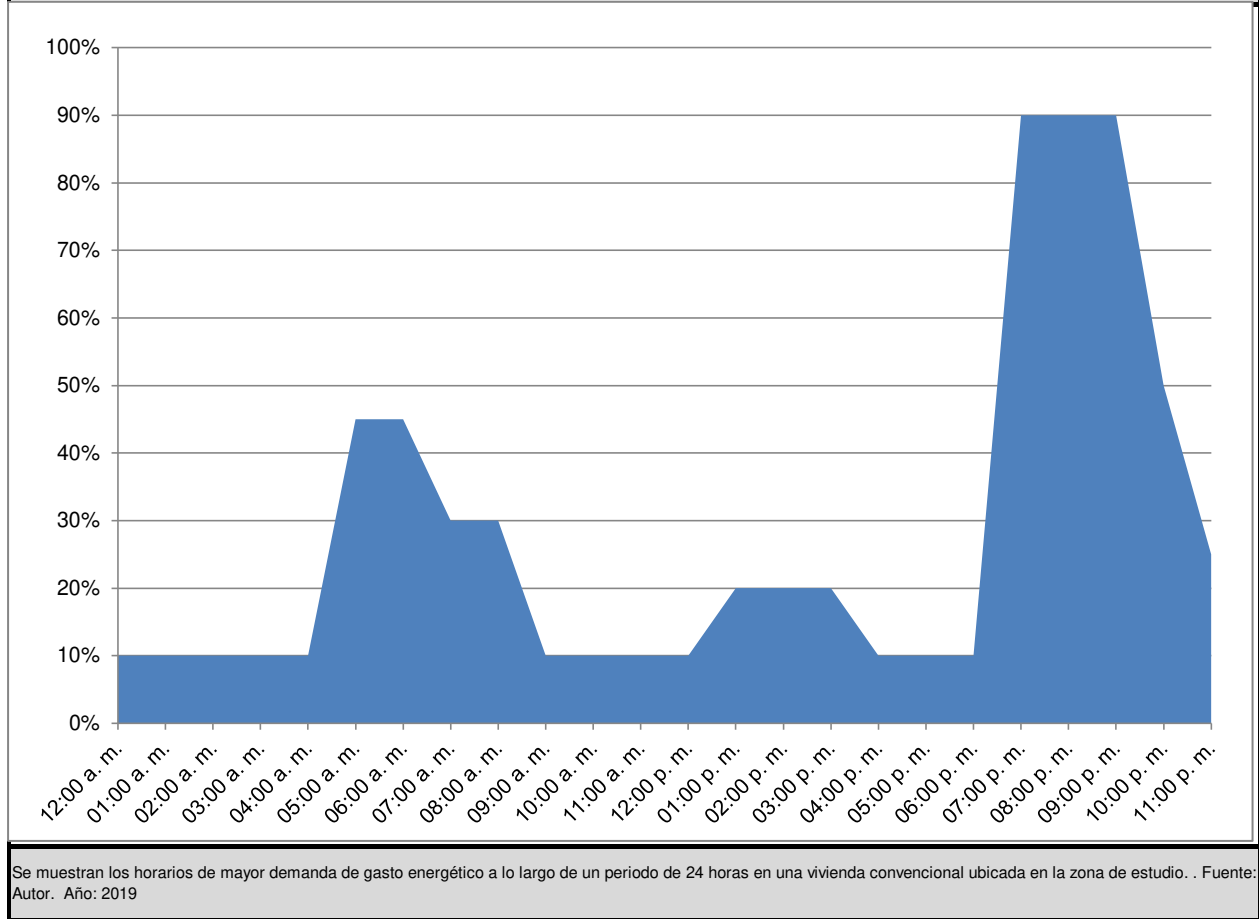
se regresa a la casa a comer, en este sentido existe un descenso de ocupación en la mayor parte de las horas solares, consecuencia de las actividades de subsistencia como en casi cualquier hábitat, ocurren fuera de él.



En relación al gráfico anterior, se buscó evaluar de manera comparativa los horarios en que esta misma población evaluada consumía mayores índices de energía eléctrica, existiendo una correlación entre la ocupación y el consumo, salvo que en el horario matutino, el gasto energético es menor y en la noche tiene su pico máximo de las 6:00 a las 9:00 pm (*tabla15*), llegando hasta un consumo que no se indica al 100% por la misma condición que se refirió en la gráfica de ocupación, ya que puede existir una variable de uso o desuso de determinados equipos o lámparas, sin embargo, se señala que es en el invierno cuando más se tiende a ocupar las lámparas como herramientas auxiliares de climatización. Esta información sirve para señalar que el gasto energético está relacionado a la ocupación, pero cuya tendencia es similar al registro que se podría tener de una vivienda en cualquier otra región incluso urbana.

Tabla 15

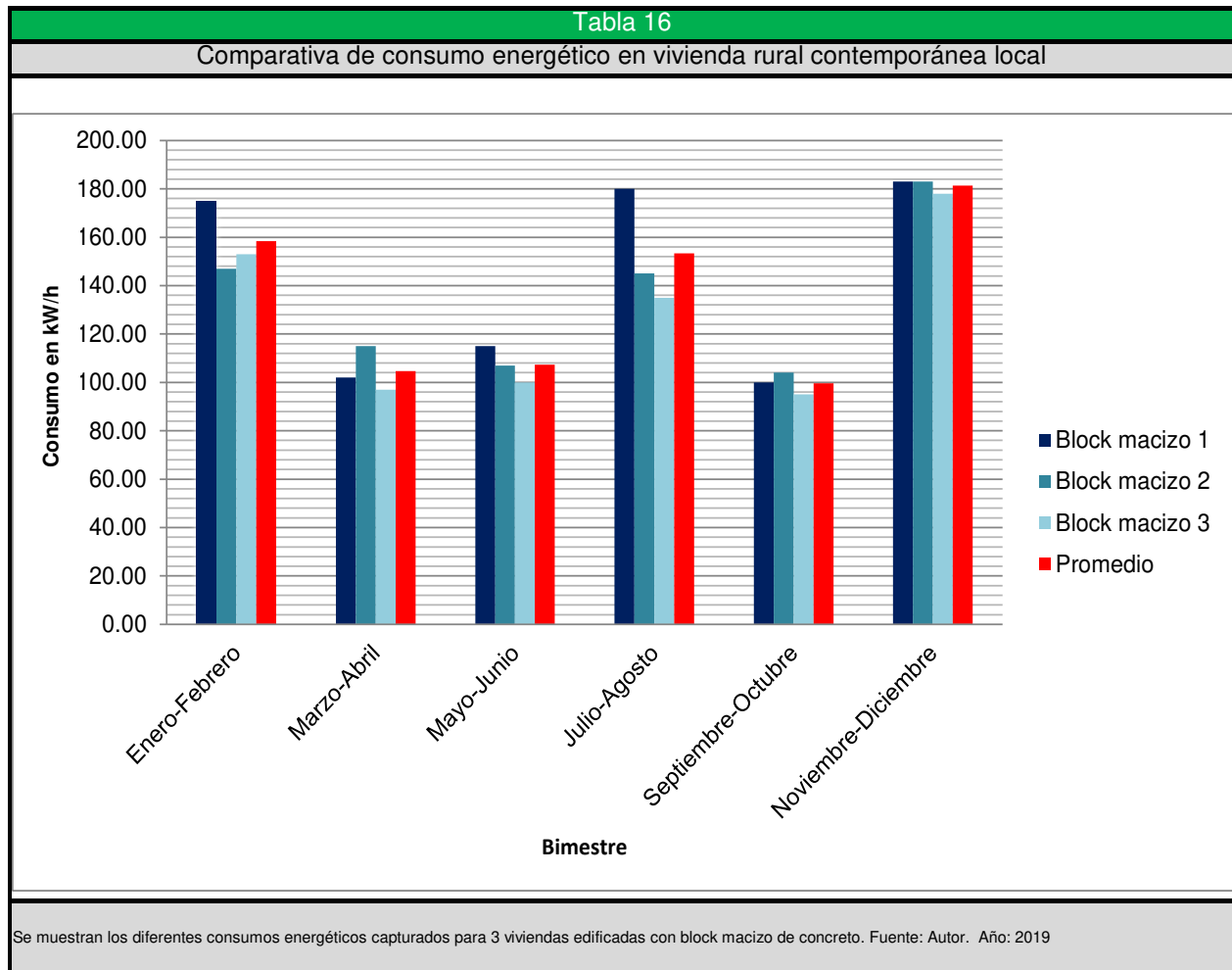
Horarios con mayor demanda de consumo energético



No obstante, el registro obtenido depende únicamente de la actividad realizada por los ocupantes de una vivienda, se señala que los datos mostrados en las tablas anteriores son referenciales, pero también, pueden variar dependiendo del tipo de habitantes que pudieran utilizar la misma vivienda. Igualmente, al variar de tipología y adecuaciones en la vivienda, como sucede en el resto de las manifestaciones arquitectónicas locales con los mismos materiales, puede existir una variabilidad en cuanto a los horarios y demanda energética.

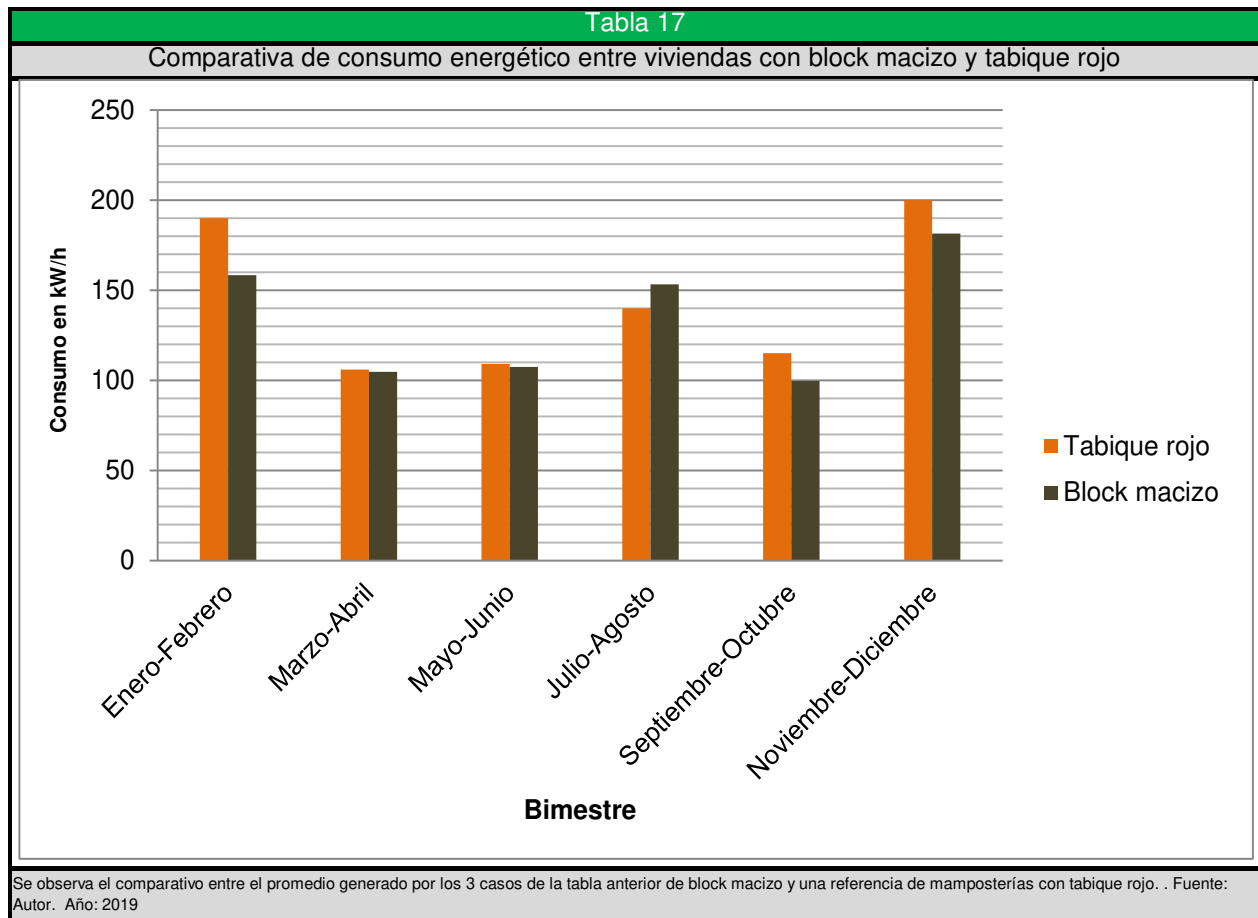
Una vez que se toman estas referencias, se opta por hacer un comparativo entre del gasto energético por kW/h en cada uno de los bimestres reportados para la Comisión Federal de Electricidad (CFE), durante el periodo del año 2019. En esta circunstancia, se debe mencionar que se toman en cuenta únicamente 3 viviendas que se pueden clasificar como viviendas contemporáneas, manufacturadas con block macizo de concreto, de las cuales, de

acuerdo a su factura eléctrica de consumo se obtienen los siguientes rangos, mostrados en la *tabla 16*.



En la gráfica anterior se muestra el consumo energético por kW/h para cada una de las viviendas, donde se puede observar que el gasto es similar en cada uno de los bimestres para el caso de las tres viviendas muestreadas, al mismo tiempo que el consumo aumenta en el primer y último bimestre del año en relación al descenso térmico de los hogares. A su vez, también existe un incremento del gasto eléctrico en los meses de julio-agosto, meses considerados regularmente con un mayor índice de precipitación pluvial. En este sentido, se puede señalar la relación entre el consumo energético y el ambiente de un local arquitectónico, ya que un incremento energético puede estar relacionado a la insatisfacción humana, que en este caso particular puede ser térmica o lumínica, resaltando que en los bimestres de marzo-

abril y mayo-junio, no se presenta un aumento del consumo energético, situación que se relaciona a no accionar las lámparas por el incremento de sensación de calor que ella representa, pero también que salvo en uno de los dos casos de la vivienda no se cuenta con equipos de climatización de pequeña escala, que en este caso es un ventilador. El promedio que se obtiene de estas tres viviendas se muestra en color rojo, mismo que tiene la misma tendencia y se compara con el rango de gasto energético para el consumo que se tiene en una vivienda manufacturada con tabique rojo, de la cual únicamente se pudo obtener datos (tabla 17).



No obstante los resultados aquí mostrados no son determinantes para considerar que al interior de las viviendas con tabique rojo en esta localidad existe una tendencia de mayor consumo energético, el análisis comparativo sirve como referente para una simulación energética virtual aquí propuesta, y aunque en principio, la simulación energética arrojada por el software de Autodesk® Revit® Insiqth®, no parte de las condiciones originales de la envolvente, ya que siempre se interpretan datos a partir del supuesto que en todo momento

existe un sistema de aire acondicionado *HVAC*. La simulación sirve como referente para las condiciones de gasto energético que se derivan a partir de los materiales utilizados en una vivienda local, razón por la cual, se realiza un modelo que asemeje las condiciones, materiales y colores de la construcción real, con su ubicación y orientaciones verdaderas, donde se consideran variaciones en la composición de sus muros, para este análisis se busca comparar a los 4 tipos de muros característicos en la zona ya mencionados y categorizados dentro de vivienda vernácula y vivienda contemporánea. Se toma como referente una vivienda de la localidad, y con variables fijas como son: una cubierta de lámina metálica, piso de concreto, vanos, herrerías y dimensiones actuales.

3.7. Respuesta de la vivienda rural contemporánea local respecto a necesidades de bienestar

Una de las limitantes que se encuentran en la realización de un análisis comparativo en cuanto a la percepción de la sensación y comodidad térmica que pueden propiciar las diversas manifestaciones del hábitat en la zona, es la falta de vestigios edificados en el caso de la arquitectura en tierra compactada, así como el desuso, mutilación o modificaciones que alteran la esencia de la arquitectura en *piedra seca* en la comunidad de estudio. Ya que el realizar mediciones en cualquiera de los ejemplos mencionados representa una variabilidad significativa en cuanto a la materialidad original de los inmuebles, que no ejemplifica las condiciones ambientales interiores que pueden aportar las viviendas vernáculas.

Al tener presente que el material más implementado es el block macizo de concreto para su uso en mamposterías, y la implementación de cubiertas en base a láminas metálicas para las viviendas más endebles, se debe señalar que el uso del concreto en viviendas populares se deriva a partir de un evento sísmico con epicentro en Ciudad Serdán, Puebla en 1973, donde las viviendas con mayores afectaciones correspondieron a las edificadas con las técnicas de muros en *piedra seca* y en *tierra compactada*, evento que a la larga, significó el abandono total de estas técnicas edificatorias y la desaparición de la mayoría de estos ejemplos arquitectónicos.

Ante la falta de espacios óptimos edificados con arquitectura vernácula para realizar una medición apropiada a los índices de *T* y *HR* interiores, y dado que es un tipo de vivienda cuya

manufactura queda hoy fuera de los alcances técnicos y económicos de los pobladores locales, se opta por descartar en su totalidad a este tipo de vivienda para análisis posteriores en esta investigación, quedando únicamente como un comparativo que puede retomarse en investigaciones futuras dirigidas a la sostenibilidad o el patrimonio cultural con enfoque en este tipo de construcciones.

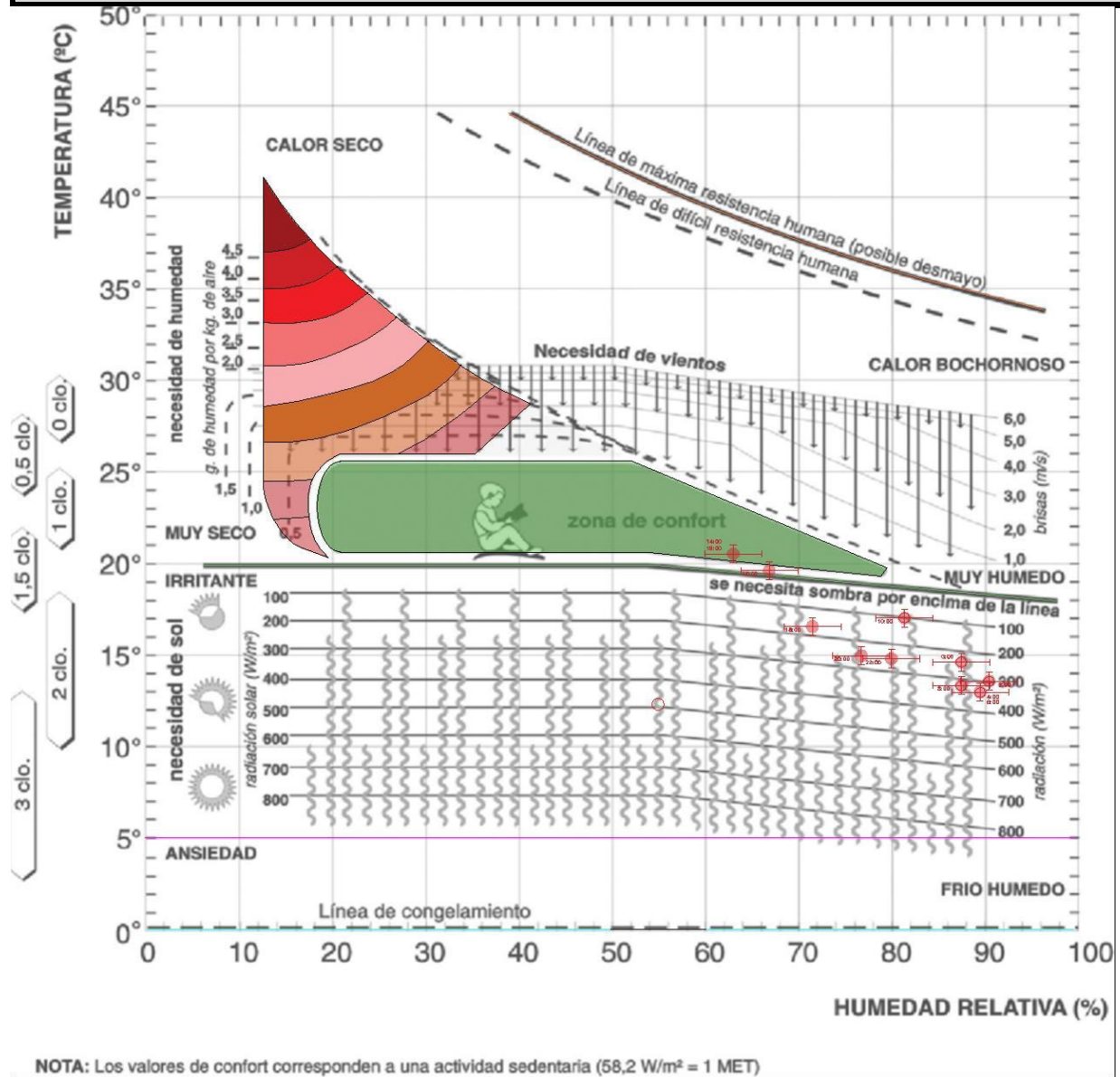
Al referir que por estos motivos la vivienda vernácula no es evaluada para siguientes comparativos, se procede a enfocar el análisis a la vivienda contemporánea, señalando que la vivienda edificada con mampostería de tabique rojo recocido quedará igualmente descartada para los análisis finales, en este apartado se toma en consideración, con la única finalidad de tener un comparativo de nivel de bienestar entre un local edificado con este material y un espacio similar edificado con block macizo, el cual tiene una amplia aceptación y propagación en todas las viviendas contemporáneas locales.

Así, se decide tomar datos promedio de T y HR en el mes de diciembre de 2019, en dos locales destinados al uso de dormitorio, donde se ubica un *datalogger* en una vivienda construida con tabique rojo de 14.00 cm de espesor y con cubierta de lámina metálica de 0.30 cm de espesor, sin algún otro recubrimiento. De igual manera se analiza otro local para la actividad de descanso en una vivienda cuyos muros son a base de block macizo con 14.00 cm de espesor, sin aplanados, al tiempo que posee una cubierta maciza de concreto de 12.00 cm de espesor. Se señala que en ambos casos la ubicación de los *datalogger* es en el centro geométrico del local y a una altura de 1.80 m de altura, en ambos locales existe una superficie de 16.00 m² con orientación al sur, la elección de ambos locales se realizó para tener una comparativa más fidedigna.

Tras determinar la colocación de los dispositivos, se procede a graficar los datos, para lo cual, en ambos casos se toma el registro de T y H a cada dos horas para hacer su comparativo con la carta bioclimática de Olgay y la carta adaptativa para ASHRAE 55-2017, para los dos casos de análisis físico (*tablas 18 a 21*). Siendo que para el caso de las cartas de Olgay basadas en Enrique, 2015, se toma en cuenta la incertidumbre referida por el fabricante de los aparatos de medición, en donde existe una incertidumbre de T con ± 0.5 °C y de HR equivalente al 3%, rangos que son aplicados en la carta bioclimática pero en la carta adaptativa no, al ser graficada en una aplicación web.

Tabla 18

Carta de Olgay para vivienda A

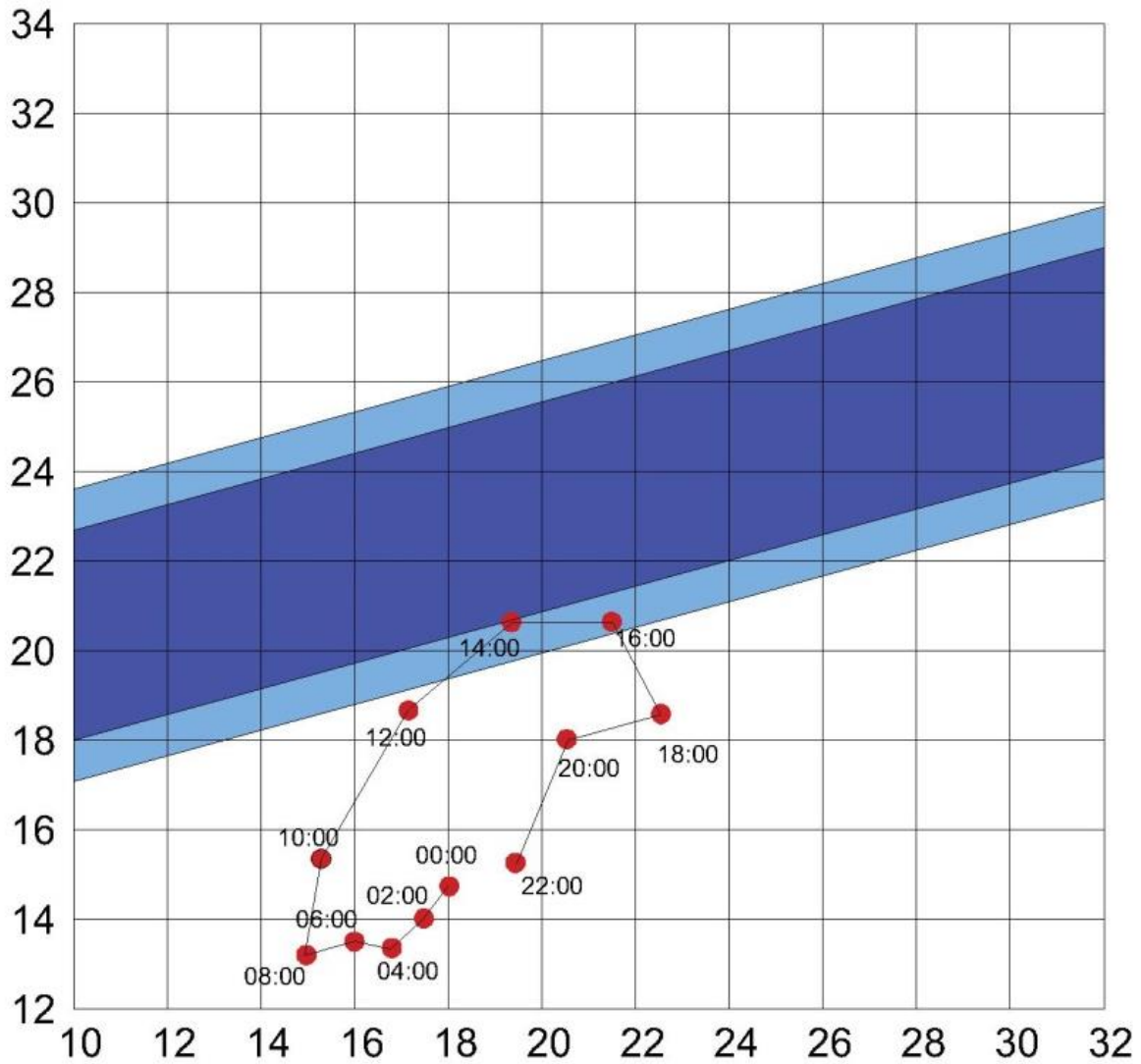


NOTA: Los valores de confort corresponden a una actividad sedentaria ($58,2 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ MET}$)

Carta bioclimática de Olgay que muestra mediciones en sitio respecto a temperatura y humedad, se puede observar que salvo en el periodo de 2:00 a 4:00 pm, las demás horas del día se encuentran fuera de la zona de confort. Fuente: Autor, basada en Enrique, 2015. Año: 2019.

Tabla 19

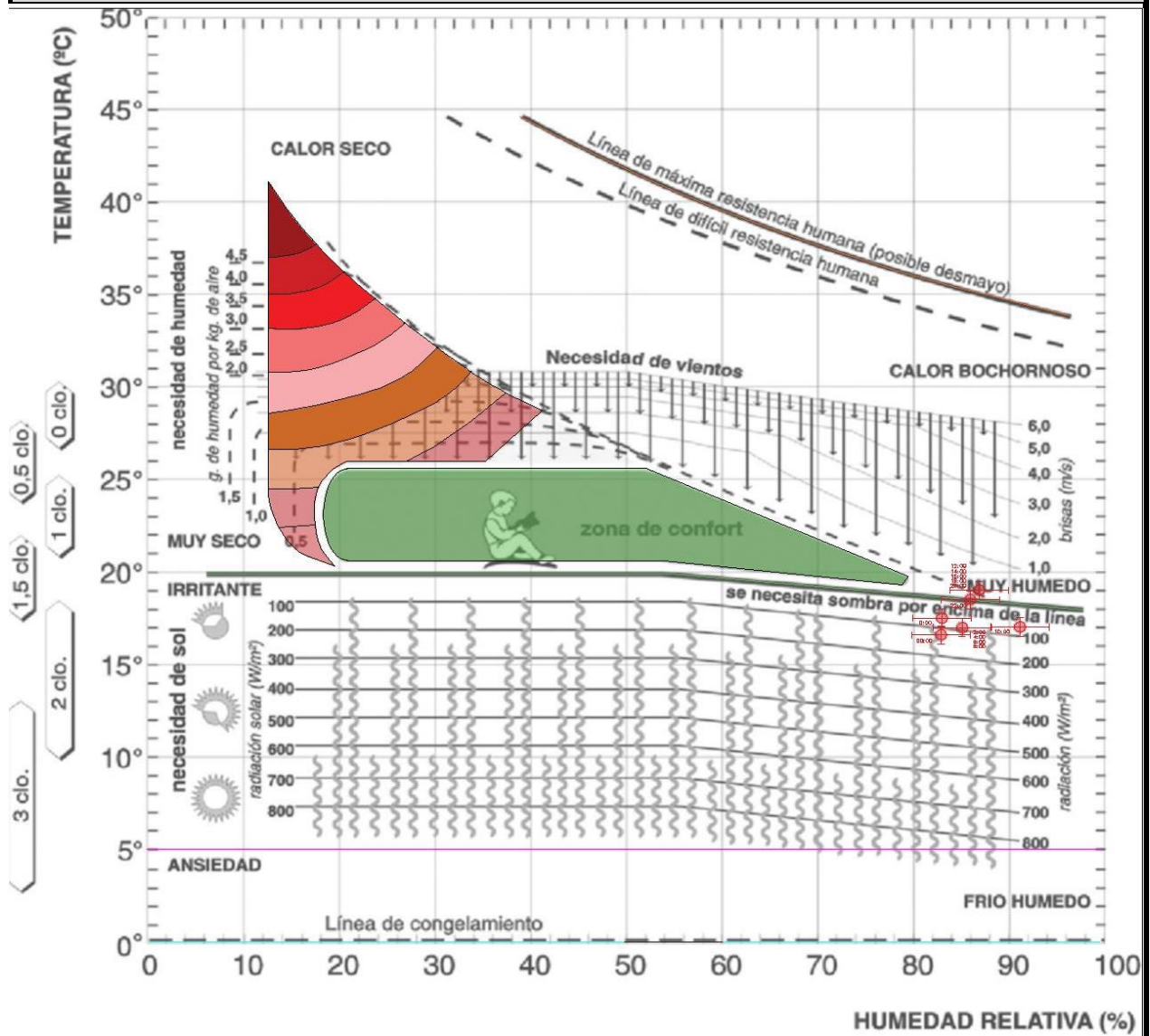
Carta Adaptativa ASHRAE para vivienda A



Carta adaptativa de ASHRAE 55, en donde se muestra que los periodos nocturnos donde se utilizan los espacios, quedan fuera de los rangos de confort térmico. .Fuente: Autor. Año: 2019.

Tabla 20

Carta de Olgay para vivienda B

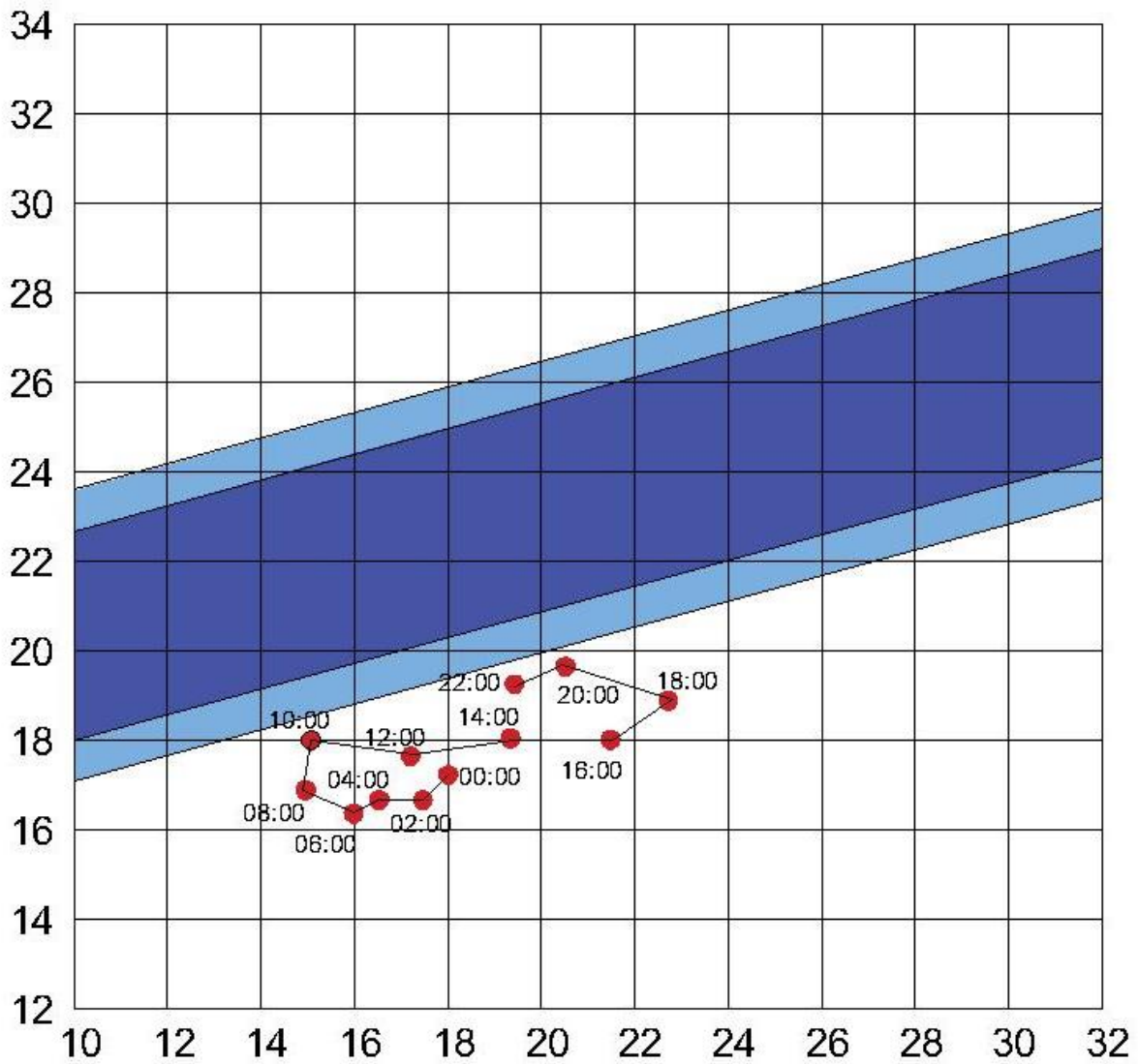


NOTA: Los valores de confort corresponden a una actividad sedentaria ($58,2 \text{ W/m}^2 = 1 \text{ MET}$)

. Carta bioclimática de Olgay que muestra mediciones en sitio respecto a temperatura y humedad, se puede observar que salvo en el periodo de 2:00 a 4:00 pm, las demás horas del día se encuentran fuera de la zona de confort. Fuente: Autor, basada en Enrique, 2015. Año: 2019.

Tabla 21

Carta Adaptativa ASHRAE para vivienda B



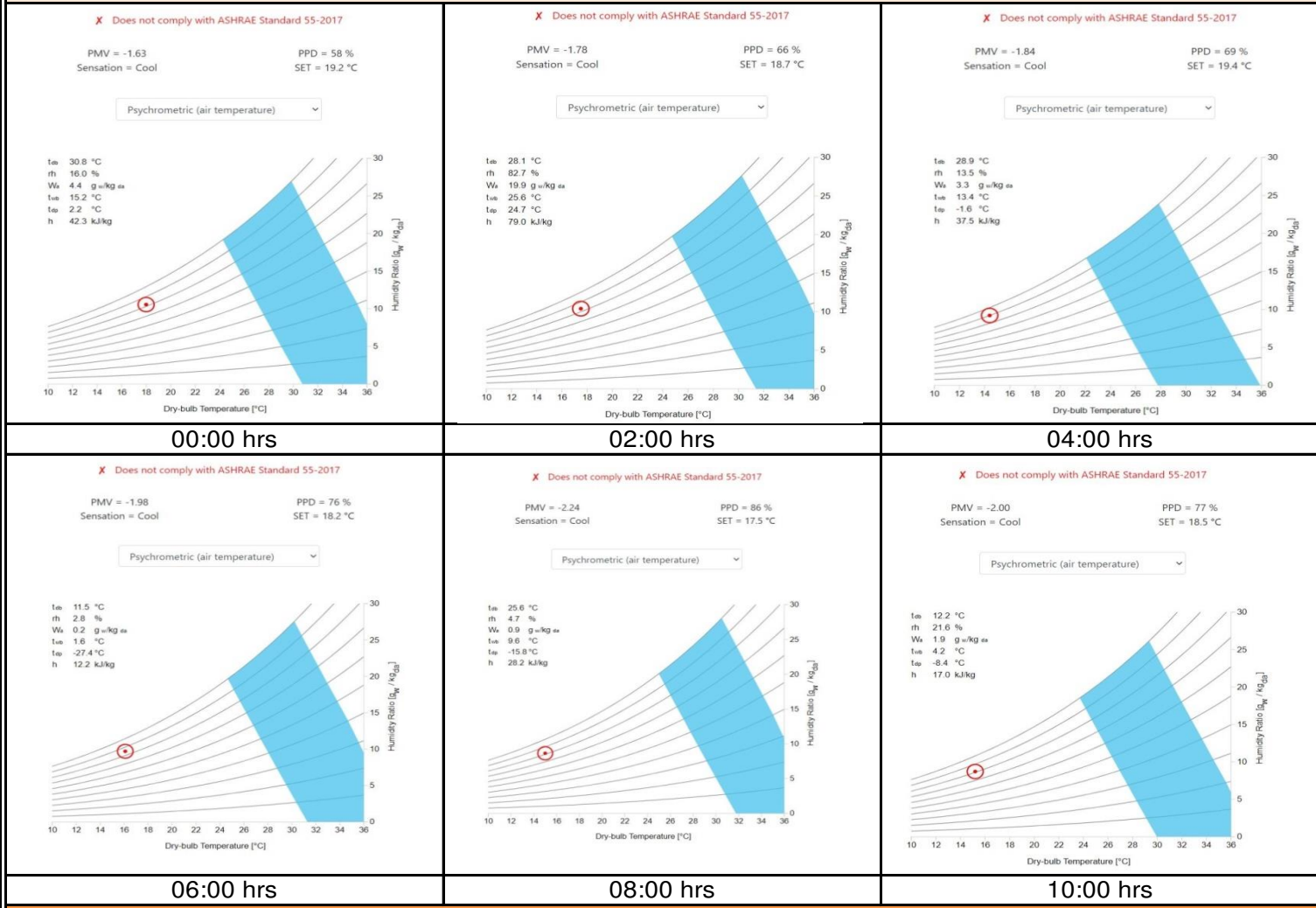
Carta bioclimática de Olgay que muestra mediciones en sitio respecto a temperatura y humedad, se puede observar que salvo en el periodo de 2:00 a 4:00 pm, las demás horas del día se encuentran fuera de la zona de confort..Fuente: Autor. Año: 2019.

Tabla 22

Evaluación del confort en vivienda con muros de tabique rojo

VIVIENDA A

Evaluación psicrométrica de rangos de confort para cada 2 horas



Información generada en : <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

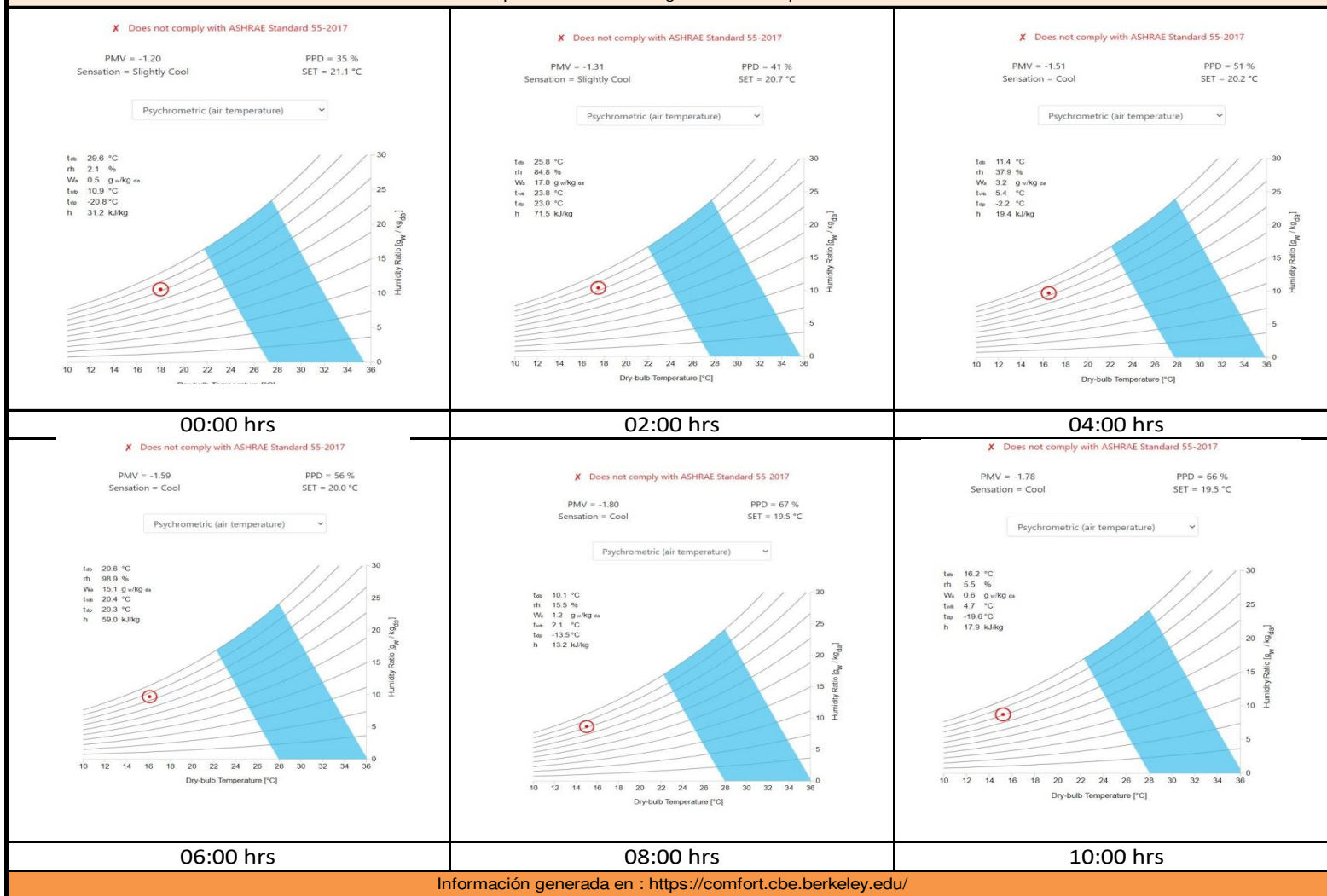
Fuente: Autor. Año: 2019

Tabla 23

Evaluación del confort en vivienda con muros de block macizo

VIVIENDA B

Evaluación psicrométrica de rangos de confort para cada 2 horas



Información generada en : <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Fuente: Autor. Año: 2019

Una vez que se realizan los registros de las tablas anteriores, se procede a realizar un comparativo entre estas dos viviendas mediante una evaluación a partir de una carta psicrométrica de los rangos de confort según la ASHRAE, evaluados en la plataforma digital *CBE Thermal Comfort Tool*⁴¹, de acuerdo al registro de cada dos horas que anteriormente se graficó. El empleo de la herramienta señalada se realiza para verificar el grado de personas satisfechas con el ambiente térmico de los locales con uso para la actividad de descanso (*tablas 22 y 23*), donde a la vivienda con muros de tabique rojo se le denomina como A y en block macizo como B.

Tabla 24		
Resumen comparativo horas confortables		
Mampostería		
Hora	Tabique rojo	Block concreto
00:00		
02:00		
04:00		
06:00		
08:00		
10:00		
12:00		
14:00		
16:00		
18:00		
20:00		
22:00		
	Confortable	
	Inconfortable	

Se muestra el comparativo de horarios entre las dos técnicas empleadas para construir muros en las viviendas. No obstante, estos datos pueden ser relativos al uso y disposición de otros elementos que puedan generar ganancias o pérdidas de calor, es importante mencionar que en los horarios de ocupación nocturnos, cuando el cuerpo humano se encuentra en descanso y se requiere un mayor equilibrio, las condiciones no son propicias para ello en ambos casos. Fuente: Autor. Año: 2019

⁴¹ <https://comfort.cbe.berkeley.edu/>

Una vez levantado el registro de estos datos, se debe señalar que aunque la vivienda edificada con block de concreto en su manufactura se considera con menor precariedad que la de tabique rojo, en este registro particular realizado en el mes de diciembre se obtiene que para un día promedio, no se registran niveles de bienestar adecuados para ninguno de los puntos registrados, tanto para la carta bioclimática de Olgay como para la carta adaptativa, no obstante existe una constante promedio de T y HR, misma que se puede observar en la relación cercana entre los puntos registrados.

En contraparte, la vivienda edificada con tabique rojo y con lámina de asbesto como cubierta, se obtienen puntos más dispersos, producto de una variación promedio entre la T y HR en el local analizado, sin embargo, aunque existe un descenso térmico menos estable, llegan a existir dos registros dentro de los niveles de bienestar, tanto para la carta bioclimática de Olgay como para la carta adaptativa, coincidiendo en que existen niveles óptimos dentro de la zona de confort a las 14:00 y 16:00 horas. La comparativa entre estos dos sistemas constructivos se compara en la tabla 24. Por consiguiente, se deduce que el horario asignado a las 15:00 hrs, se encuentra dentro de la zona de confort para el caso de la vivienda edificada con tabique rojo, se muestra que para el caso opuesto, no existe ningún horario que pueda determinar las condiciones óptimas para el bienestar humano y el desarrollo de sus actividades.

Las consideraciones de esta muestra llevan al cuestionamiento del uso excesivo del block de concreto como material de mamposteo en la manufactura de la vivienda de la zona, ya que si bien, una de las principales fuentes de transmisión del calor en una vivienda es la cubierta, en los datos registrados, tendría que existir un mejor comportamiento para la vivienda que emplea este material, al considerar que cuenta con una losa maciza que permite un mayor retraso térmico, sin embargo, al ser una muestra que solamente toma en consideración a dos modelos de vivienda, no permite determinar la objetividad de esta hipótesis. La formulación de este problema permite respaldar la idea central de la investigación, en la cual las mamposterías actuales con block de concreto sin aislante térmico alguno, por si mismas, no son aptas para permitir una zona de bienestar humano al interior de las viviendas, por lo que en los capítulos restantes se busca la aplicación de un termoaislante auxiliar que pueda ser implementado sin alterar las condiciones de las viviendas actuales.

Por consiguiente, se deduce que el horario asignado a las 15:00 hrs, se encuentra dentro de la zona de confort para el caso de la vivienda edificada con tabique rojo, se muestra que

para el caso opuesto, no existe ningún horario que pueda determinar las condiciones óptimas para el bienestar humano y el desarrollo de sus actividades. Las consideraciones de esta muestra llevan al cuestionamiento del uso excesivo del block de concreto como material de mamposteo en la manufactura de la vivienda de la zona, ya que si bien, una de las principales fuentes de transmisión del calor en una vivienda es la cubierta, en los datos registrados, tendría que existir un mejor comportamiento para la vivienda que emplea este material, al considerar que cuenta con una losa maciza que permite un mayor retraso térmico, sin embargo, al ser una muestra que solamente toma en consideración a dos modelos de vivienda, no permite determinar la objetividad de esta hipótesis. La formulación de este problema permite respaldar la idea central de la investigación, en la cual las mamposterías actuales con block de concreto sin aislante térmico alguno, por si mismas, no son aptas para permitir una zona de bienestar humano al interior de las viviendas, por lo que en los capítulos restantes se busca la aplicación de un termoaislante auxiliar que pueda ser implementado sin alterar las condiciones de las viviendas actuales.

Conclusiones de capítulo

La vivienda rural tradicional en la localidad de Chalchicomula de Sesma, Puebla, tuvo sus orígenes en el aprovechamiento de los recursos naturales más convenientes para la edificación del hábitat, por ello, las expresiones vernáculas, se identifican bajo dos técnicas constructivas principalmente, la tierra apisonada y la piedra seca, edificaciones que buscaban la climatización a través de la masa térmica que el ancho de los muros proporcionan. Tras el evento telúrico de 1973, agentes sociales que han desvirtuado la arquitectura tradicional, pero también la aparición de sistemas industrializados más económicos y que disminuyen periodos de ejecución, han influido en la desaparición de estas dos técnicas, quedando en muchos casos, únicamente vestigios de este tipo de arquitecturas. Como consecuencia de ello, el abandono y la modificación con otros materiales de los pocos sistemas que de ellos quedan, son se facilita una comparativa plena con la vivienda contemporánea a través de la toma de datos en sitio, por lo que se realizó una simulación virtual, en donde las viviendas con tapial permiten un mayor ahorro energético en comparativa con las edificadas con block macizo.

Toda vez que se obtuvieron estos datos se realiza una comparativa respecto a niveles de confort analizados en la carta bioclimática de Olgay y la carta adaptativa de ASHRAE 55, en

donde se encuentra que la vivienda edificada con block macizo de concreto no posee ningún rango horario dentro de los parámetros de confort térmico, en contraparte el análisis realizado a una vivienda con mamposterías de tabique rojo muestra que en un periodo horario entre las 14:00 y las 16:00, el espacio analizado se encuentra en rangos de confort térmico. Cabe mencionar que en ambos casos el horario nocturno queda fuera de estos rangos y es donde existen descensos térmicos por debajo de los 10°C, mismos que coinciden con la actividad de descanso y dormir, por lo que el cuerpo está expuesto a periodos de estrés.



4

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DEL SUELO LOCAL PARA FINES CONSTRUCTIVOS

Una de las características de la zona de estudio es el uso de una gran proporción del recurso suelo como área de cultivo, no obstante, aunque la economía local depende de esta actividad, el abuso indiscriminado de la misma y la predisposición geológica influyen en la erosión que impacta en el territorio circundante, debido a la tala de especies arbóreas locales y otras actividades como la quema de residuos agrícolas o deshecho de residuos sólidos no biodegradables. Esta condición impacta de manera directa al microclima local, influyendo por ejemplo, en el incremento de la velocidad del viento consecuencia de la reducción de barreras verticales de origen vegetal, la presencia de contaminantes en cuerpos de agua y suelo, o la existencia de partículas contaminantes en la atmósfera consecuencia de acciones antrópicas, tanto locales como regionales.

Pero al igual que diversos materiales pétreos, el suelo es un recurso altamente disponible en todas las latitudes del globo terráqueo, por consecuente, las expresiones arquitectónicas en donde se presenta el uso de este recurso material son innumerables, existiendo variaciones en sus técnicas de aplicación respecto a sus propiedades moleculares. Así, a las expresiones materiales que implementan suelos como materia prima constructiva se le ha denominado como *Arquitectura en Tierra*, por lo que es común encontrar fuentes informativas que señalan a la *tierra* como recurso utilizado como material de construcción, mismo que puede ser implementado en muros, pisos e incluso en cubiertas como material de relleno. Para que el suelo sea considerado dentro de las características de construcción en *tierra*, este no debe pasar por un proceso de cocción al horno, su secado se realiza al sol en condiciones térmicas ambientales.

En el presente capítulo se realiza una caracterización del material disponible en la localidad, a partir del planteamiento en donde la arquitectura vernácula de la región tiende hacia las técnicas de compactación, no obstante, se tiene conocimiento que en casos ajenos a la investigación, se han empleado técnicas poco aptas para las técnicas en tierra. Asimismo, se realizan ensayos propios para una posible solución de estabilización en cuanto a las proporciones a seguir con este tipo de suelo e implementarlo de manera que la densidad del mismo tras la adición de fibras vegetales sea reducida, ello con la finalidad de buscar una menor conductividad térmica para proveer de una capa exterior a las viviendas ya existentes.

4.1. Suelo disponible en la localidad y litocromática

En primera instancia parte de la materia prima disponible se percibe como un elemento de baja cohesión entre sus partículas, lo que se percibe a través del desgajo del suelo en los bancos de material presentes o en algunas laderas donde se puede obtener el material. Sin embargo, la observación de estas características deben corroborarse primeramente con ensayos de campo, mismos que son realizados con equipo de medición no especializado y que permiten tener una caracterización previa del suelo, para posteriormente realizar pruebas específicas en Mecánica de Suelos para con ello, obtener los rangos de plasticidad de las muestras. Se menciona que para la realización de estas últimas pruebas se cuenta con el apoyo del Laboratorio L4 de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, y de los Ing. Ricardo Heras Cruz e Ing. Miguel Saavedra.

Al ser el suelo un material cuya implementación llega a ser considerada como poco aceptable por los reglamentos de construcción de México en comparativa con el concreto, el acero e incluso la madera, debido a sus bajas resistencias mecánicas del material cuando esté no pasa por un proceso de cocción al horno, nuestro país carece de una normativa que regule su uso y selección como material constructivo. Por lo tanto, como parte del reconocimiento de la materia prima disponible, se recurre a las clasificaciones edafológicas⁴², ella parte como una disciplina centrada en los usos agrícolas del suelo, por consecuente, sus clasificaciones se enfocan hacia parámetros de importancia en el cultivo de alimentos. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), por sus siglas en inglés, posee una clasificación que es aceptada en diversos países y agrupa a diversos tipos de suelo de acuerdo a sus estructuras física, química y biológica. Bajo esta perspectiva, la (SEMARNAT, 2014, p. 55), clasifica a Puebla como un territorio donde:

“La clase de suelos mejor distribuida es regosol, son suelos minerales de textura fina, suelen ser jóvenes débilmente desarrollados y se encuentran principalmente en las zonas áridas y semiáridas, así como en regiones montañosas sin permafrost. En el estado se localizan principalmente en la región norte, este y sureste, coincide con la distribución de los bosques y selvas bajas”.

⁴² Del griego “edaphos” que significa superficie de la tierra y estudia el suelo desde todos los puntos de vista: morfología, composición, propiedades, formación y evolución, taxonomía y distribución, utilidad, recuperación y conservación. (UAEH,2011,p.7).

Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

Las elevaciones montañosas en esta región propician el desarrollo de ecosistemas que se identifican como bosques, situación que se correlaciona con los tipos edafológicos, ya que de ellos depende el desarrollo de los biomas. Por ello, es de suma importancia reconocer que alteraciones ocasionadas por acciones humanas o ambientales, como es el caso de contaminantes del suelo, saturación de humedad, erosión, etc., propician la aparición de elementos minerales o patógenos ajenos a su estructura original. La característica entonces del suelo local, se ubica dentro de la clasificación de *regosoles*, pero esta circunstancia no es determinante para clasificar a una muestra y se requerirán pruebas y ensayos experimentales para determinar las condiciones del material, para enfocarlo a necesidades edificatorias.

Siendo los suelos regosoles los predominantes en la localidad, se debe mencionar que de acuerdo a FAO en su informe anual (FAO, 2008, p.91):

“...son suelos minerales muy débilmente desarrollados en materiales no consolidados que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros ni muy ricos en gravas (Leptosoles), arenosos (Arenosoles) o con materiales flúvicos (Fluvisoles). Los Regosoles están extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos”.

Se entiende que estas condiciones hacen referencia a suelos poco estables (*figura 14*), lo que significa que la cohesión entre sus partículas no es muy elevada y que no es común la presencia de agregados gruesos como gravas, por lo que llegan a ser suelos de fáciles desprendimientos incluso ante efectos del viento. De la misma manera, a través del Prontuario de Información Geográfica Municipal INEGI (2009), se refiere que los suelos predominantes en el municipio después de los Regosoles (66%), son los Arenosoles (24%). En referencia a los suelos Arenosoles, el mismo informe de FAO (2008, p.72) menciona que:

“Los arenosoles comprenden suelos arenosos, incluyendo tanto suelos desarrollados en arenas residuales después de la meteorización in situ de sedimentos o rocas ricos en cuarzo, y suelos desarrollados en arenas recién depositadas tales como dunas en desiertos y tierras de playas”.



Figura 13. En la presente fotografía se observa la condición física del suelo local, mismo que presenta un color uniforme en la mayor parte del territorio y que se percibe como un suelo poco consolidado, de fácil desprendimiento y endeble ante circunstancias ambientales como la erosión o las fuerzas pluviales de gran magnitud.

Fuente: Autor. Lugar: Santa María Techachalco, CS, Puebla. Año: 2018.

Se resalta que en ambos casos, tanto regosoles como arenosoles, son suelos que sugieren una alta presencia de arenas en su estructura granulométrica, por lo que la erosión observada en capas expuestas al viento, puede ser resultado de la baja cohesión en las partículas del material (*figura 13*). A su vez, existe una relación entre la caracterización edafológica y la arquitectura vernácula local, ya que la extensión de técnicas en *tierra compactada* en la región sobre otras técnicas en tierra como el adobe, puede atribuirse a herencia cultural, pero también a la disposición de recursos materiales.

No obstante, otra manifestación de la arquitectura vernácula local que responde a la arquitectura en *piedra seca*, tendría que responder al uso de argamasas con una cantidad elevada de arcillas, condición que puede no haberse cumplido en estos ejemplos y dada la baja cohesión de la argamasa y deficiencias en la técnica de ejecución o mezcla de sistemas

constructivos, comprometió la estabilidad de los muros y con ello, el colapso de viviendas con este sistema en el sismo de 1973.



Es importante señalar que el reconocimiento visual forma parte de los primeros acercamientos con el material, en ellos es perceptible el color y en campo se puede hacer una clasificación a partir de él, la finalidad de tener una clasificación *litocromática* es poder catalogar cromáticamente a nuestra muestra o banco de extracción, ya que si el color de la muestra extraída varía, puede que su composición mineral y granulométrica también cambie. Cabe señalar que la importancia del color en Arquitectura responde a cuestiones estéticas, pero también a cualidades utilitarias, ya que del grado colorimétrico depende la capacidad de reflexión o absorción del calor en una superficie. Por lo tanto, se busca realizar una clasificación

cromática de acuerdo a la escala Munsell, misma que se realiza por un lado, con una muestra de suelo seco (*figura 14*) y otra con suelo humectado con agua destilada (*figura 15*).



Figura 15. De igual manera, pero tras humectar la muestra se procede a su verificación litocromática.

Fuente: Autor. Lugar: FES Aragón Año: 2019

Una vez realizado este procedimiento se comparan ambas muestras con la tabla obteniendo los siguientes rangos:

- a) Muestra suelo seco= matriz 10YR, valor 8 y cromática 4 (*figura 14*)
- b) Muestra suelo húmedo= matriz 7.5YR, valor 2.5 y cromática 3 (*figura 15*).

De acuerdo a la comparativa cromática de Munsell, para la muestra de suelo seco se percibe una tonalidad parecida al ocre, mientras que la misma tiende a tornarse más oscura. En este sentido, se debe señalar que las tonalidades claras en muestra seca hacen referencia a un suelo con dominio de componentes minerales ante agentes cromógenos como materia orgánica u óxidos férricos, sin embargo, tras la aplicación de agua esta misma muestra al tornarse oscura detona que pueden existir elementos cromógenos como manganeso (color negro) o carbonatos como sales o yeso que propician la dilución cromática (Moreno et al.,2010). Esta circunstancia hace determinar que es posible que el suelo presente en la localidad sea poco favorable para diversas actividades agrícolas, pero si para su uso como material constructivo, dada la posible presencia de componentes minerales en él.

4.2. Muestreo de suelo

Tras una inspección de los lugares propicios para la obtención de muestras de suelo a utilizar, se identifican depósitos fluviales y bancos, los primeros se descartan por la contaminación causada a partir del deshecho de diversos residuos sólidos, incluyendo materia orgánica a gran profundidad (raíces) y minerales que pueden mezclarse con el suelo original y alterar el producto a utilizar. Por este motivo, de acuerdo a la Norma *NMX-C-030-ONNCCE-2004* para el muestreo de agregados, se selecciona un banco de donde se puede obtener material para el muestreo en tajos a cielo abierto (*figura 16*).



Figura 16. Vista aérea de la región de donde se extraen las muestras de suelo

Fuente: Google Earth. Año: 2020

Una vez reconocido el mejor banco para la obtención de materia prima, se procede a ejecutar 5 calas en el banco, (1) a 1.00m de profundidad, (2) a 1.20m de profundidad, (3) a 1.40m de profundidad, (4) a 0.90m de profundidad, (5) a 1.45m de profundidad. Ello con la finalidad de descartar todo material contaminante sea orgánico o mineral, realizando la extracción de prismas de 0.40mx0.40m. Una vez realizada la extracción del material, se seleccionan 4.00 kg de cada cala, los cuales se reparten equitativamente, una primera parte para ser mezclada y realizar los ensayos de campo y la otra parte para su traslado a laboratorio.

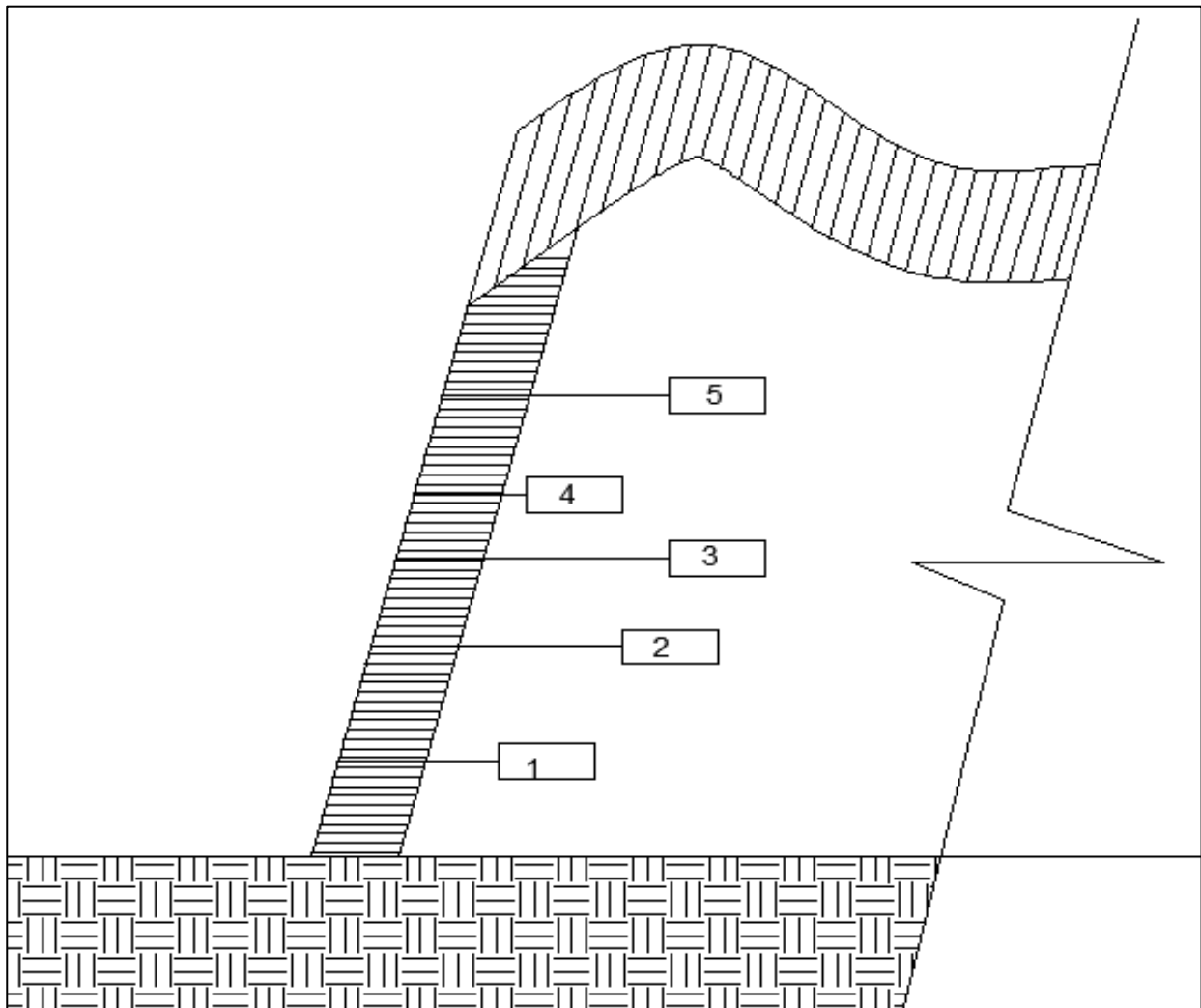


Figura 17. Sección esquemática de la ladera en donde se extraen las muestras. Se observa la secuencia de muestreo.
Fuente: Autor

Para los dos bancos de material, la primera inspección visual y física del suelo obtenido se muestra homogéneo, comparando las cinco calas obtenidas, así como con la capa

superficial que se encuentra expuesta a la intemperie, su color es marrón, claro, con una textura rugosa, señalando que al tacto, la muestra no se queda adherida a la piel, lo que puede ser característico de un suelo arenoso. Posterior a seleccionar las muestras de suelo, se procede a su análisis granulométrico en campo, buscando recrear las condiciones de la *NMX-C-030-ONNCCE-2004*, se procede a tamizar 1.00kg. de cada muestra, mismo que se pasa por dos mallas, una de 9.5mm.y otra de 4.75mm.

4.3. Pruebas de campo

Como pruebas de campo, se engloban aquellas que se pueden realizar *in situ* con equipo no especializado, bastando herramientas simples de trabajo o utensilios de uso común que son de bajo costo y accesibles para cualquier persona. La finalidad de realizar estas pruebas es tener un primer acercamiento y referencia sobre las características físicas del suelo, para con ello, determinar la viabilidad de su utilización como material constructivo en técnicas de *tierra cruda*, es mediante la realización de estos ensayos que se puede determinar la técnica constructiva conveniente a implementar o si en su caso, es conveniente un proceso de estabilización mediante otro material, compensación granulométrica de uno de los componentes, o su descarte por la presencia de contaminantes o materia orgánica.

Es importante señalar, que las pruebas de campo no parten como ensayos definitivos, dado que son muestreado empíricos, su veracidad puede discutirse, más aún cuando se trata de suelos estudiados con presencia de áridos equilibrada, es decir, aquellos cuyos porcentajes de arenas, arcillas y limos no son claramente marcadas, los ensayos aquí presentes tienen un rango de error más marcado que en aquellos suelos donde predomina alguna granulometría sobre las demás.

Por lo tanto, debemos entender por compensación del suelo, la forma de manipular la muestra principal obtenida mediante el ajuste granulométrico de componentes que se requieran en él, ya sean arcillas, limos, arenas e incluso gravas, por ejemplo, un suelo arenoso puede ser compensado con un suelo arcilloso para la elaboración de adobes. En contraparte, la estabilización responde a la adición de materiales externos a la estructura de un suelo que sirven para dar una mayor *estabilidad* al material, esta elaboración procede cuando no se puede ajustar al suelo granulométricamente o no se cuenta con herramientas o conocimiento para calibrar correctamente su proceso.

Por lo tanto, la estabilización se ha convertido en la forma más popular de ajustar las condiciones del suelo y así convertirlo en un material óptimo para la edificación. Se señala que entre los agentes que se utilizan para estabilizar a la tierra como material constructivo, se encuentran los procesados de origen mineral como el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y Cemento Portland Compuesto Tipo II, pero también existen aquellos de origen biológico como es el caso de los biopolímeros, entre los que se encuentran los polisacáridos.

4.3.1. Ensayo de sedimentación

Esta prueba tiene como finalidad separar las granulometrías que componen la muestra mediante la decantación, para ello, se coloca una parte de la muestra sin humectar y previamente tamizada por la malla No. 40, en un frasco de 400ml, el fragmento de la muestra se vierte hasta la mitad del frasco aproximadamente, es decir, en este caso se toma como referencia la altura máxima del frasco desde su base hasta la boca de la tapa, que es 10.0 ± 0.1 cm., y se procede a llenarlo hasta una altura de 5.0 ± 0.1 cm., que equivale a la mitad de su dimensión vertical. Se debe considerar que la muestra colocada en el frasco contiene aire, por lo que al verter el agua al frasco está desplazará los espacios contenidos por aire, generando una compresión del sólido y cuya consecuencia es una variabilidad en la altura total de la muestra que en origen fue de 5.0 ± 0.1 cm.

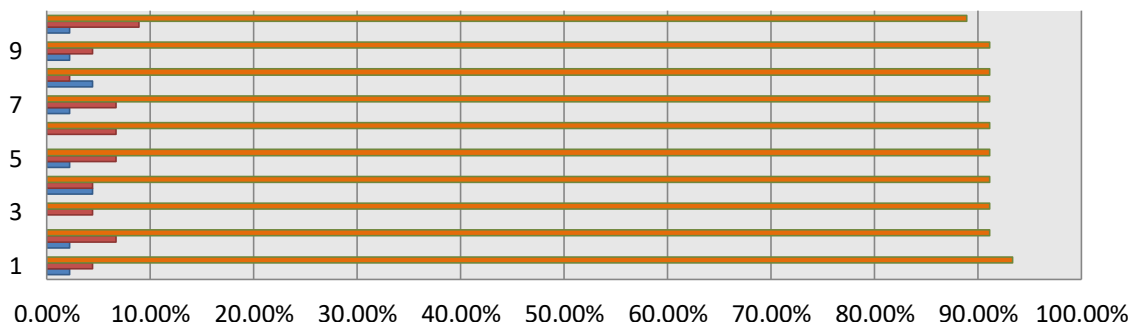
Una vez que se efectúa el llenado del recipiente, se procede a agitarlo durante un periodo de 2 minutos, tras ponerla en reposo sobre una superficie horizontal en 15 segundos se puede obtener la cantidad de arenas presentes en la muestra y después de 15 minutos la cantidad de limos, se menciona que al considerar que realización de esta prueba es empírica, se opta por dejar las muestras en reposo durante 48 horas (aunque el proceso de sedimentación sigue después de este tiempo), ello para proceder a la medida de los componentes de la misma mediante un *flexómetro*⁴³. Se procede a tomar las medidas en vertical de los espesores que se observan y se procede a estimar el porcentaje presente en la muestra por cada elemento (*Tabla 24*).

⁴³ Instrumento de medición, calibrado en el Sistema Internacional de Unidades para longitud.

Tabla 25

Ensayos de sedimentación en la muestra de suelo

Ensayos de sedimentación



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
arena	93.33%	91.11%	91.11%	91.11%	91.11%	91.11%	91.11%	91.11%	91.11%	88.89%
limo	4.44%	6.67%	4.44%	4.44%	6.67%	6.67%	6.67%	2.22%	4.44%	8.89%
arcilla	2.22%	2.22%	0	4.44%	2.22%	0	2.22%	4.44%	2.22%	2.22%

Comparativo en diez ensayos de campo en la muestra de suelo obtenida, donde se observa la cantidad de granulometrías en cada una de las pruebas. Fuente: Autor. Año: 2019

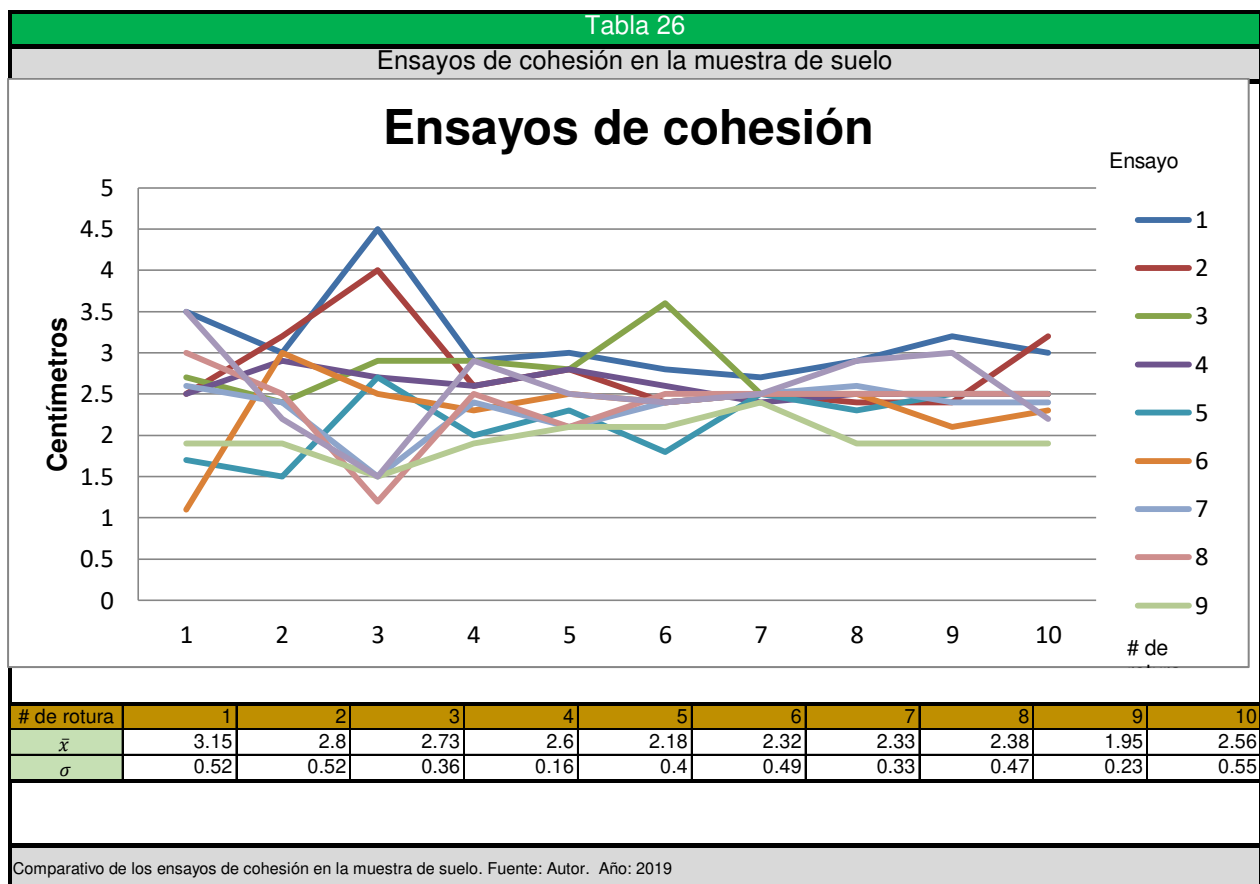
Tras la realización de diez casos en el ensayo de sedimentación, se observó una tendencia considerable en la concentración de granulometrías definidas como arenas en la muestra, mismas que salvo en la décima repetición fue menor al 90% del total, aunque por un rango menor al 2%. Así, se establece una presencia constante de arenas con promedio (\bar{x})=91.11% y desviación estándar (σ)=0.32 mientras por su parte los limos representan la segunda composición mineral con presencia \bar{x} =5.56% y σ =0.47% y las arcillas con un rango \bar{x} =2.22% y σ =0.01%. Por este motivo, el suelo muestra una tendencia de composición predominantemente arenosa, que deberá verificarse en las pruebas de laboratorio.

4.3.2. Ensayo de cohesión

Determina la capacidad de unión entre las diferentes partículas y componentes que existen en la muestra de tierra, para la realización de este ensayo se humecta una muestra del suelo tamizado por la malla No. 40, hasta obtener una consistencia plástica que pueda ser moldeada, con ello se formará un rollo de 2.5 ± 0.1 cms. de ancho y 25.0 ± 0.1 cms. de largo. Una vez realizado el mismo se procede a colocarlo en el borde de una mesa y al suspenderlo en el

borde mediante una hoja de papel, su rotura ejercida por gravedad indica el grado de la cohesión teniendo en consideración que una rotura ≤ 3.00 cms. es una muestra altamente arenosa y óptima para el tapial, entre 3.00 y 6.00 cms. corresponde a una muestra equilibrada y propicia para utilizar en adobe y ≥ 6.00 cms. a una muestra altamente arcillosa y óptima para la técnica del bajareque.

Dado que estos ensayos son altamente inexactos, el ejercicio realizado para la presente investigación se plantea la repetición del procedimiento en diez ocasiones, para obtener datos constantes los que se muestran en la *tabla 25*. En dicha gráfica se observa congruencia con la prueba de sedimentación en donde para la mayoría de los ensayos existe una rotura de ≤ 3.00 cm., done la cintilla realizada con dimensiones de 25.00 ± 0.1 cm para los 10 casos se quebranta en 10 segmentos, de dimensiones variables pero similares entre sí, por lo que se demuestra que la muestra de suelo similar a la que abunda en la región es apta para técnicas en tierra que emplean bajas concentraciones de agua como el tapial o el Bloque de Tierra Comprimida.



Se señala que la información mostrada en la gráfica anterior muestra el promedio y la desviación estándar en cada uno de los segmentos de rotura para los 10 ensayos realizados, ello con la finalidad de mostrar la tendencia dimensional a la cual se fragmenta cada una de las diez roturas para los 10 ejercicios. Por otro lado, se menciona que existe un $\bar{x}=2.5$ cm. y $\sigma=0.35$ cm. generalizada para el ensayo en su totalidad, como consecuente, se define que este suelo tiene una tendencia a la rotura bajo este ensayo de ≤ 3.00 cm., por lo tanto, coincide en su caracterización de suelo altamente arenoso con el ensayo de sedimentación, circunstancia que hace evidente las expresiones de arquitectura vernácula en tapial que antecedieron en la zona.

4.3.3. Ensayo de densidad y porosidad

Los suelos se caracterizan por ser elementos sólidos que poseen determinada porosidad, ella es ocupada por líquido cuando este es saturado por el mismo, o por aire cuando se encuentra en estado seco. Estas condiciones aunadas a la composición granulométrica entre limo, arcillas y arenas, establecen las capacidades de agrietamiento, expansión, compresión de la muestra, ya que también se establece una relación entre la absorción y desorción del suelo. Para el caso de las construcciones con este material, una porosidad pronunciada permitiría la contención del aire o humedad, según sea el caso (figura18).

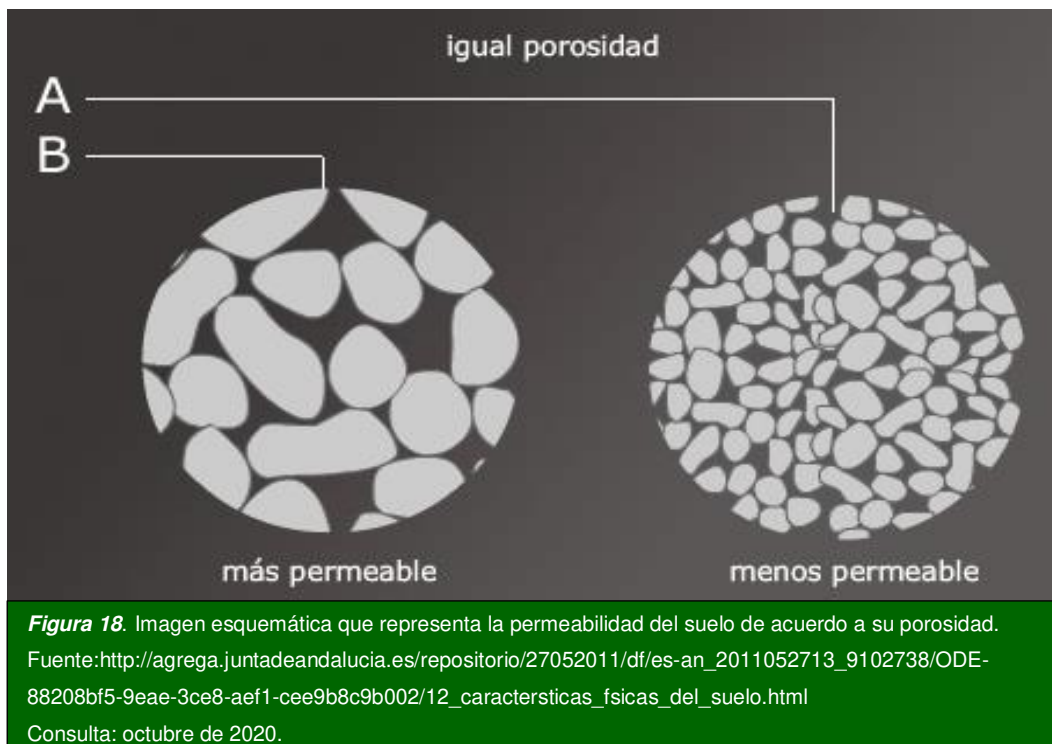


Figura 18. Imagen esquemática que representa la permeabilidad del suelo de acuerdo a su porosidad.

Fuente:http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/27052011/df/es-an_2011052713_9102738/ODE-88208bf5-9eae-3ce8-aef1-cee9b8c9b002/12_caractersticas_fsicas_del_suelo.html

Consulta: octubre de 2020.

Para el caso del aire, además de reducir la densidad del sistema, repercute en la conductividad térmica del mismo, mientras que en contraparte, estos poros al ser ocupados por agua pueden incrementar la retención volumétrica del líquido, que se traduce en una mayor humedad pero también, en fallas y desprendimientos del sistema constructivo. Cabe mencionar que una vez implementado el suelo como material constructivo, su porosidad está determinada por el grado de compactación del material, ya que al auxiliarse de un equipo mecánico, el grado de compactación es mayor que el realizado de forma manual.

Se menciona que para conocer un índice porcentual de porosidad se requiere conocer previamente de la densidad, misma que se entiende como la ocupación de una masa en un volumen determinado, ella se puede clasificar como densidad aparente (pd) y densidad real (pr). Bajo estándares normativos y científicos, la medición de la densidad se realiza con instrumentos como el pincómetro y el cilindro biselado, no obstante, al tratarse de un ensayo que permitirá conocer las cualidades del material en campo, así como una prueba que se pueda efectuar en el mismo dentro de la puesta en obra de la técnica a implementar, se opta por descartar el valor de densidad real, el cual requiere de un proceso de medición más complejo.

Para el reconocimiento de valores en porosidad del material, se procede a tamizar la muestra por una malla equivalente a la No. 4 (4.75 mm) para liberarla de gravas. Asimismo se utiliza un cilindro de $8.4 \pm 0.1 \times 3.4 \pm 0.1$ cm., mismo que será la medida volumétrica de la muestra que será pesada en seco auxiliándose de una báscula digital para la obtención de valores. Así se obtienen valores de densidad aparente (pd) en suelo en estado original y compactado para obtener un porcentaje de porosidad de acuerdo a la tabla 27.

Tabla 27				
Ensayos de cohesión en la muestra de suelo				
Suelo tamizado		Suelo compactado		Al dividir la densidad aparente del suelo tamizado (760.00 kg/m ³) entre la densidad aparente del suelo compactado (1030.00 kg/m ³) obtenemos un valor equivalente a 0.73. Donde el valor de $(1.00 - 0.73 = 0.27)$, nos indica un aproximado en porcentaje ocupado por poros para esa muestra de suelo.
peso recipiente	30.10 gr.	peso recipiente	30.10 gr.	
peso total	174.50 gr.	peso total	127.80 gr.	
peso suelo	144.40 gr.	peso suelo	194.09 gr.	
volumen	188.44 cm ³	volumen	188.44 cm ³	
pd	0.76 gr/cm ³	pd	1.03 gr/cm ³	
	760.00 kg/m ³		1030.00 kg/m ³	

Fuente: Autor.

4.4. Pruebas de laboratorio

Como pruebas de laboratorio se definen aquellas que se realizan con equipo calibrado y especializado, reguladas o referenciadas de acuerdo a normativas de carácter nacional e internacional. Para el caso de la Arquitectura en tierra, actualmente en México no se tienen normas específicas en la evaluación de material previo a su implementación, por ello, se sugiere la clasificación de las muestras en relación al del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), cuya implementación busca reconocer las características físicas de la muestra mediante la realización de pruebas en Mecánica de Suelos. La implementación de estos estudios está basada en los denominados Límites de Consistencia o de Atterberg, cuya metodología permite conocer los grados de plasticidad y saturación de un suelo a través de la presencia de agua.

Asimismo, en laboratorio se busca corroborar los análisis empíricos realizados en campo, como los índices granulométricos del suelo, ya que tras la realización de ensayos antes mencionados sobresale el alto índice de arenas en el material, pero es preferente verificar de manera científica los índices compositivos en el material. Se señala que para este análisis granulométrico también se implementa la metodología proporcionada a partir del SUCS y normada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT). Para las pruebas de laboratorio requeridas en esta investigación se contó con el apoyo del Laboratorio de Ingeniería Civil, L4, de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, bajo apoyo y supervisión del Ing. Saavedra y el Ing. Enrique Heras, se refiere que los 2kg. obtenidos de cada cala del *muestreo* fueron trasladados hasta este lugar para posteriormente realizar los procesos aquí señalados.

4.4.1. Cuarteo del suelo

De acuerdo a los Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, de la SCT dedicado a suelos y materiales para terracerías en la norma *M.MMP.1.03/03*, el cuarteo se realiza con la finalidad de homogeneizar el material obtenido de diversas muestras de suelo, tal es el caso de mismo que para el caso de este estudio se lleva a cabo un procedimiento de manera manual y se elimina el exceso de humedad exponiendo la muestra al sol. Una vez teniendo una muestra de 2.00 kg de cada una de las calas realizadas en el muestreo, y observándose que no existe una gran

cantidad de agregados gruesos, se procede a realizar la mezcla manual de las 5 recolecciones con una pala. Para homogeneizar el material, se disgregan los pocos agregados gruesos que se encuentren con un mazo (figura 19). Una vez que la muestra se observe perfectamente homogeneizada, se procede a humectarla y dividirla en cuatro conos, se separa cada una de estas muestras y se procede a guardarlas durante 24 horas antes de su experimentación en laboratorio (figura 20).



Figura 19. Proceso de cuarteo del suelo
Fuente: Autor. Lugar: FES Aragón. Año: 2019



Figura 20. Al concluir el proceso de mezcla y pisoneado, las muestras recolectadas se divide en cuatro. Fuente: Autor. Lugar: FES Aragón
Año: 2019

4.4.2. Límites de Consistencia

De acuerdo a normativas en los Estados Unidos de América, es común encontrar clasificaciones a partir de los estatutos de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) o el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS),

tales sistemas sirven para clasificar un suelo respecto a sus características granulométricas y en relación a pruebas de sus Límites de consistencia o Atterberg. Al referir que los suelos son una composición química de sustancias, se pueden encontrar elementos que alteran la estructura de los mismos, entre ellas la cantidad de agua, la finalidad de estudiar los Límites de Consistencia de un suelo, es el analizar los límites plástico y líquido que este puede tener a partir de la dosificación de agua. Para ello, es necesario cribar la muestra a analizar previamente cuarteada por una malla de 425 micras (No. 40), de acuerdo a los Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en la parte de suelos y materiales para terracerías *M.MMP.1.07/07*, misma referencia que es mencionada por el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C (IMCyC), donde señala una definición sobre los límites de consistencia:

“Determinan la plasticidad de la porción de material que pasa por la criba 0,425 mm (malla No. 40), y que forma parte de los agregados. La plasticidad es una propiedad de los suelos que les permite cambiar su forma sin agrietarse cuando se les sujeta a una presión, reteniendo su nueva forma cuando desaparece el esfuerzo aplicado. La porción de material que pasa por las cribas referidas, presenta una consistencia plástica para una humedad comprendida entre dos límites: el límite plástico y el límite líquido. Su amplitud es medida como su índice plástico” (IMCyC, 2009, p.68).

Por lo tanto, es importante homogeneizar la muestra analizada para tener resultados fiables, el proceso se realiza sobre una placa de vidrio aplicando agua destilada y manipulándolo mediante espátulas para que no se pierda la humedad de la muestra. Una vez realizada su homogeneización, se procede a colocar pequeñas muestras en una Copa Casagrande donde se ranura y golpea la muestra hasta que ella vuelva a su estado original antes de la ranura (*figura 21*).

Posterior a ello, se coloca la muestra en un vidrio de reloj, la muestra se pesa en una balanza granataria (*figura 22*) con el vidrio y esta se deja en un horno eléctrico a temperatura de 102 °C. Este procedimiento se realizó en cuatro pruebas ya que durante la realización de las muestras se observó que al colocar una cantidad mínima de agua, se dificulta el proceso de ranurar la muestra, es decir la muestra de suelo tiende a ser muy espesa, bajo una consistencia arenosa. Del mismo modo, al verter líquido a la muestra se observa que esta tiende hacia la saturación del mismo, por lo que la muestra pasa a ser predominantemente líquida y no se puede realizar la prueba.



Figura 21. Golpeo en copa casagrande de la muestra humectada de suelo.
Fuente: Autor. Lugar: FES Aragón Año: 2019

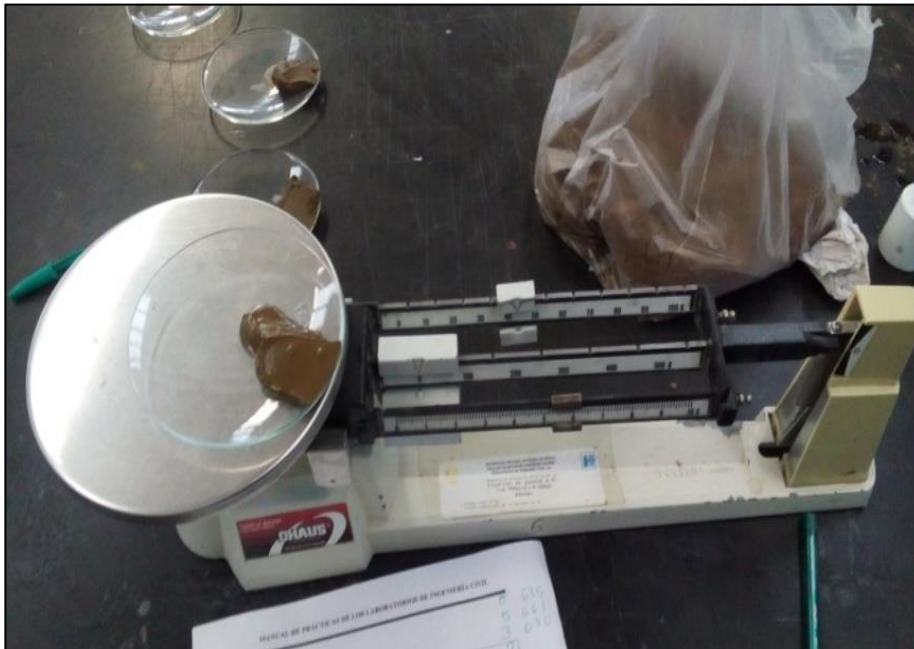


Figura 22. Peso en balanza granataria de la cápsula con el contenido de suelo.
Fuente: Autor. Lugar: FES Aragón. Año: 2019

Tras esta serie de observaciones, se deduce que la muestra de suelo obtenida una vez realizado su muestreo, tamizado y realización a los Límites de Consistencia es predominante en cuanto a su composición de arenas, situación que concuerda con la documentación bibliográfica que responde a la edafología local. Cabe mencionar que las muestras denotan una ganancia mayúscula de agua una vez se procede a su humectación, situación que se presenta en suelos que contienen arcillas *esmeclitas*, por su alta ganancia de humedad. De esta manera, se observa que al contener el 3.87% de agua en una muestra únicamente requiere de un golpe, de igual manera, una alta saturación de agua que sobrepasa al 51% dificulta la realización de la prueba por lo que el contenido debe ser menor a ese rango. Se considera que para un contenido en la muestra del 50% de agua el número de golpes requeridos es 8 como máximo de golpes permitidos, quedando fuera de los rangos superiores a los 25 golpes que denotan la presencia de arcillas en el suelo (tabla 28).

Tabla 28								
Límites de consistencia M.MMP.1.07/07								
Límite líquido								
Prueba No.	Cápsula No.	Peso de la cápsula (gr)	No. De golpes	Peso cápsula + suelo húmedo (gr)	Peso cápsula + suelo seco (gr)	Peso del agua (gr.) Ww	Peso del suelo seco (gr.) Ws	Contenido de agua % $W(100)=(Ww/Ws)100$
1	41	55.7	8	63.5	60.9	2.6	5.2	50
2	94	54.94	5	66.1	62.35	3.75	7.41	50.607287
3	150	53.19	3	63	60	3	6.81	44.052863
4	107	38.08	1	46.3	46	0.3	7.92	3.7878788
*Límite plástico								
	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-

En la sección superior, se observan los valores del límite líquido para el suelo local obtenido. No obstante, la circunstancia de predominio en granulometría arenosa implica rangos fuera de valores adecuados para determinación de un LL. Al no poder realizarse las probetas por la baja cohesión del suelo, se descarta la obtención del límite plástico de la muestra. Fuente: Autor. Año: 2019

En la tabla anterior se observa que tras llevar a pruebas de copa Casagrande el suelo obtenido, donde se refleja una tendencia por demás lejana a la presencia de arcillas, en este sentido, el límite líquido de la muestra no se puede obtener. De igual manera al realizar los

rollos de 3.00 mm con la muestra de material, se observa que la prueba no se puede llevar a cabo dadas las circunstancias de su poca adherencia entre partículas y por consecuencia, poca manejabilidad. En este sentido, en el proceso de obtención de los límites líquido y plástico se observa que el suelo posee una cantidad superior de arenas que no permiten la obtención de valores de los Límites de Consistencia, bajo estas muestras experimentales, por lo que límites e índice plástico que requiere la norma M.MMP. 1.07/07 no se obtienen.

4.4.3. Análisis granulométrico

En México la norma la *M-MMP-1-02-03* identifica los suelos a partir de su granulometría, siendo “*suelos gruesos* cuando más del 50% de sus partículas son de tamaño mayor que 0.075 mm (malla No. 200) y como *suelos finos* cuando el 50% de sus partículas o más, son de tamaño menor” (SCT, 2003, p. 13). Bajo esta circunstancia, la muestra homogeneizada mediante *cuarteo* y una vez que se deja secar por un lapso de 24 horas, se procede a su tamizado por la malla No. 200, donde se puede observar que el porcentaje de la muestra que pasa por ella es superior a 50% (figura 23), por lo que este suelo entra dentro de la clasificación de suelos finos. Al igual que los Límites de Consistencia, para la realización de esta prueba se requiere una muestra de suelo de 300 gr. (figura 23), previamente cuarteado y tamizado por la malla de 425 micras o No. 40, misma que en este caso deberá estar completamente seca y de acuerdo a la Norma M.MMP.1.07/07.



Figura 23. Peso del suelo en balanza granataria. Fuente: Autor. Lugar: FES Aragón. Año: 2020

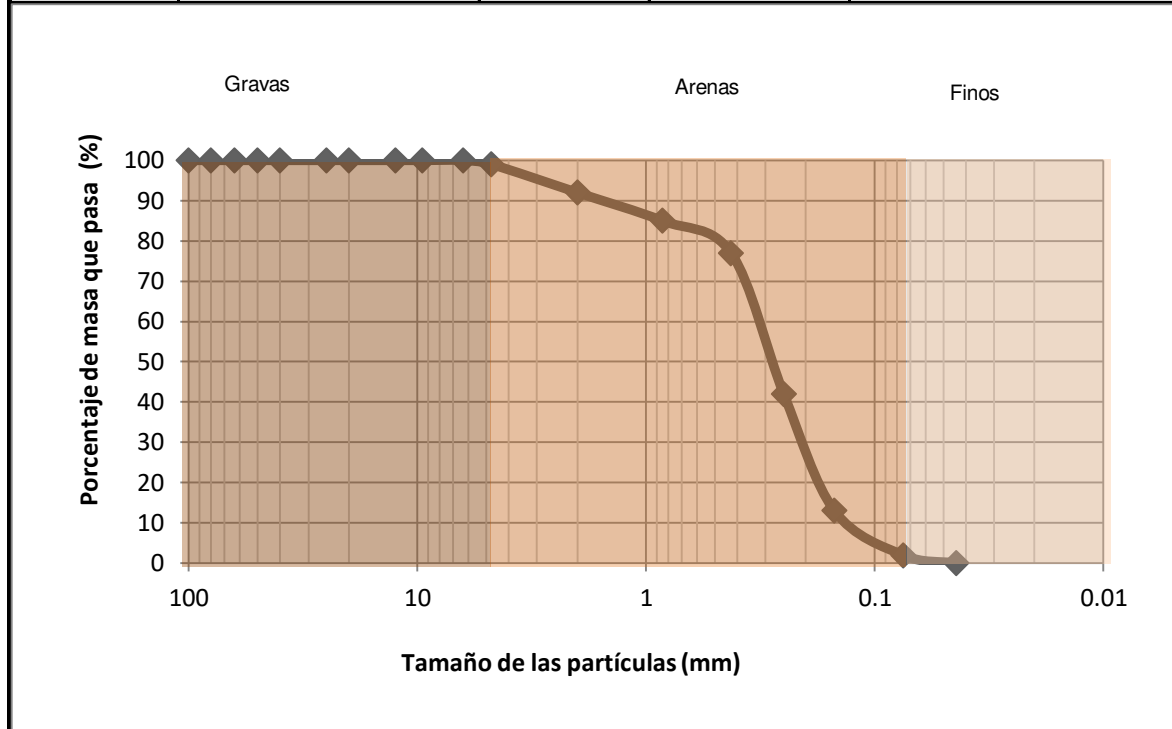


Figura 24. Peso del suelo en balanza granataria. Fuente: Autor. Lugar: FES Aragón. Año: 2020

El proceso consiste en pasar la muestra sucesivamente por la malla con mayor apertura, en esta caso la malla No.4, hasta la mala CH (*figura 24*), los volúmenes que quedan contenidos entre cada una de las mallas deberán ser pesados. En las imágenes anteriores se observa el proceso de análisis granulométrico, se refiere que la muestra de suelo hace considerar una composición predominantemente en el rango de los finos, sin embargo, al pasar por la muestra de tamizado, se observa claramente que los áridos correspondientes a las arcillas y los limos (malla CH), corresponde al 1.75% del total de la muestra, siendo en las mallas No. 30, 50 y 100,

donde se acumula el mayor porcentaje de los áridos. Del mismo modo, la curva granulométrica define una clasificación SM de acuerdo a SUCS, acorde a la proporción de arenas con finos.

Tabla 29				
Tabla de análisis granulométrico M. MMP. 1.06/03				
Malla	Peso retenido (gr)	Por ciento	% Entero	% Acumulativo
3"	0.00	0.00	100	0
2"	0.00	0.00	100	0
1 1/2"	0.00	0.00	100	0
1"	0.00	0.00	100	0
3/4"	0.00	0.00	100	0
1/2"	0.00	0.00	100	0
3/8"	0.00	0.00	100	0
1/4"	0.00	0.00	100	0
4	3.30	1.18	1	1
8	20.00	7.15	7	8
16	19.20	6.86	7	15
30	21.10	7.54	8	23
50	98.60	35.24	35	58
100	82.10	29.34	29	87
200	30.60	10.94	11	98
CH	4.90	1.75	2	100
	279.8	100	100	



Fuente: Autor. Año: 2019

En la tabla anterior se observa que existe una tendencia de concentración en el grupo granulométrico perteneciente a las arenas, ya que es en el proceso de estos ensayos cuando las mallas retienen una mayor cantidad de la muestra de material. Por consecuencia, tanto gravas como finos (arcillas y limos) representan un porcentaje mínimo de la composición de este tipo de suelo, misma tendencia que se vió refljada tanto en los ensayos de campo como en los Límites de Consistencia. Bajo esta situación, se describe que la técnica en tierra cruda más favorable para realizar con este tipo de suelo, son aquellas que reciben una acción de compactación para su puesta en obra, tal como el tapial o el BTC, por lo que cualquier otra técnica en tierra para implementar al suelo como material constructivo tendrá que pasar por un proceso de estabilización o compensación granulométrica.

4.5. Estabilización de la tierra como material de construcción

Dado que los sistemas en tierra compactada tienen el inconveniente de ser sistemas que incrementan la densidad de los mismos y con ello el peso propio, se menciona que una de las características esenciales del barro liviano y que difiere de otros sistemas constructivos en tierra, es la densidad de su constitución sistema, ya que al ser un sistema no estructural, su densidad puede rondar entre los 400 a 500 Kg/m³, en contraparte, el adobe ronda entre 1000 y 2000 Kg/m³ y el tapial con densidades superiores a los 1500 Kg/m³ pero menores a 2500 Kg/m³ (Moevus-Dorvaux, et al., 2016). En este sentido, se señala que la forma de *aligerar* la tierra o reducir su densidad, comúnmente se realiza con algún agregado tanto de origen vegetal como mineral, siendo los pertenecientes al primero, los que mayor implementación tienen para la realización de esta técnica.

Por lo tanto, a la técnica de barro liviano se le ha conocido también como barro paja, *terre-paille* ó *ligh straw-clay*, siendo el connotativo de “barro” una referencia a la tierra con alto contenido de arcillas. Se menciona que dentro del tipo de fibras vegetales recomendables para el proceso de *aligerar* la tierra se encuentran las pajas que son producto de la cosecha del trigo, avena y cebada, no obstante, aunque el maíz en México es el cereal que más biomasa producto de su siembra y cosecha genera, el inconveniente de utilizarlo como medio *aligerante* a las muestras de tierra es la fermentación que este produce al entrar en descomposición al contacto con la humedad dado su alto contenido de fructuosas, lo que atrae a especies bióticas nocivas a buscarlo como alimento. Esa es la consideración principal por la cual, se opta por

utilizar paja de avena, un cereal con menor producción que el maíz en esta localidad, pero cuya utilización resulta más apta para la realización de esta investigación.

En la *figura 25*, se comparan tres probetas cilíndricas con dimensiones de $8.4\pm 0.1 \times 3.4\pm 0.1$ cm, las cuales se dejan secar durante un periodo de 3 meses para evaluar el comportamiento de la fibra mezclada con la tierra, en principio este ensayo puede permitir ver si a futuro existe una tendencia en la aparición de hongos o cualquier otro tipo de amenaza biótica que pueda repercutir en la decisión de considerar a la fibra como elemento *aligerante* para la realización de los módulos experimentales o posibles paneles para implementar en campo en las viviendas rurales. Así, se procede a tomar una proporción de un volumen de suelo por dos de fibra vegetal (1:2) para tres casos con fibras de: a) arbusto, b) paja de avena, c) paja de haba (*figura 25*).



Figura 25. Se muestra la condición de las muestras de suelo tras 90 días con : a) arbusto, b) paja de avena, c) paja de haba. Fuente: Autor.

Tras su exposición a la intemperie, no se observan presencias de elementos bióticos a simple vista, no obstante, se la muestra de paja de haba tiene una ganancia más considerable de humedad respecto a los otros dos ejemplos. Asimismo, esta muestra posee una sensación al olfato más elevada que los ejemplos *a* y *b*, situación que pudiera ser indicio de putrefacción futura que se debería analizar con un mayor periodo de alcance, cuando menos un año. Así se observa una baja adherencia de la muestra entre fibras y tierra una vez que se retiran las probetas del cilindro, por tal motivo, aunque estos elementos vegetales se toman en consideración prioritariamente antes que otros elementos como es el mismo desperdicio vegetal del maíz conocido localmente como “*zacate*”, ya que este último es mayormente sensible a la proliferación de agentes bióticos.

Una vez que se evalúa el comportamiento de las fibras ante el intemperismo y que se encuentran nulas cualidades aglutinantes del suelo, es recomendable realizar un proceso de estabilización del mismo para emplearlo como material de construcción. Para ello se define al proceso de estabilizar a la muestra de material suelo con fines constructivos como la acción de agregar elementos externos que brinden una mayor “fijación” entre partículas del material (en este caso tierra), existiendo principalmente dos grandes clasificaciones de estabilizantes, por un lado se tienen aquellos obtenidos de origen mineral como el óxido de calcio (CaO) conocido como cal, mismo que puede estar en varias conformaciones como la cal viva, hidratada, dolomítica o hidráulica (SCT,2002), pero también existe un tendencia por utilizar al Cemento Portland Compuesto, principalmente CPC II para la estabilización de este material con fines constructivos.

Aunado a ello, se debe señalar que existen fuentes orales en diversas comunidades donde se habla de la estabilización de técnicas en tierra cruda a partir de puzolanas volcánicas dadas sus cualidades cementantes. Por otro lado, existen estabilizantes cuyo origen tiene estructuras *orgánicas*, es decir cuya conformación biológica determina su composición, a este tipo de estabilizantes Vissac et al. (2017) los han agrupado dentro del nombre de *biopolímeros*, en tanto que a su vez ellos se componen de cuatro grupos que son: polisacáridos, lípidos, proteínas y otros (resinas y taninos). No obstante, el estudio de estabilizantes en suelos se ha profundizado en mayor medida desde la rama de la Ingeniería Civil, los preceptos pueden acercarnos a tener una idea de cuáles son las funciones de utilizar un estabilizador, López (1983, p. 37) señala que:

“En la mayoría de los casos de mejora geotécnica del suelo el objetivo del tratamiento es obtener uno o más de los siguientes cambios, en las propiedades o condiciones del suelo: 1. Aumentar la resistencia mecánica. 2. Reducir la compresibilidad en orden a minimizar los asentamientos bajo cargas estáticas. 3. Reducir el potencial de licuefacción bajo cargas dinámicas y movimientos sísmicos. 4. Disminuir la permeabilidad. 5. Disminuir la erosionabilidad. 6. Disminuir el potencial de colapso estructural. 7. Disminuir el potencial físico-químico de expansión”.

Aunque dicha referencia menciona los casos de aplicación cuando un suelo recibe una construcción, se debe entender que cuando se encuentran necesidades similares en una muestra de material para una técnica constructiva en tierra cruda, es preferente realizar un proceso de estabilización. De manera general, la tabla 29 muestra una clasificación específica para la estabilización de los suelos con fines constructivos en técnicas de tierra cruda, esta

clasificación no se realiza en función del origen del estabilizante, sino a partir de su función con la tierra así como aplicación y maneras de actuar con ella. Asimismo, se puede referir que las técnicas aquí mostradas son las sugeridas o con las cuales los estabilizantes pueden tener un trabajo más efectivo.

Tabla 29						
Medios para la estabilización de tierras						
Estabilizante		Origen	Procedimiento	Actuación	Acción	Técnica
Sin agregar estabilizante			Mecánico			
Agregando estabilizante	Estabilizantes inertes	Mineral	Físico	Densificador	Al incrementar la densidad se bloquean los poros y canales capilares	Tapial, BTC
		Fibras		Armado	Crear una armadura omni-direccional que reduzca el movimiento	Adobe, Bajareque, Barro liviano, entre otras
	Estabilizantes físico-químicos	Ligantes	Químico	Encadenado	Crear un esqueleto inerte que se oponga a todo movimiento	Adobe, Bajareque, Barro liviano, entre otras
				Enlace	Formar enlaces estables entre los cristales de arcilla	Técnicas que empleen arcillas como granulometría principal
		Hidrofobantes		Impermeabilizante	Rodear a las partículas de tierra de una película impermeable, cerrando poros y canales	-
				Hidrofugante	Eliminar los excesos de absorción de agua	-

Formas de estabilizar al suelo con fines constructivos, de acuerdo a Houben (2006) y retomada por Taallah (2014,p.22). Traducción y adaptación a las técnicas en tierra por el autor.

Bajo estas consideraciones, se debe señalar que en México existen lineamientos para la estabilización de suelos cuando estos serán utilizados como desplante de construcciones o carreteras, más no cuando se utiliza como un material implementado para edificación. Sin embargo, una problemática encontrada en la tierra local es su alto contenido de arenas, mismas que complicaron la realización de los Límites de Consistencia y en cuya caracterización realizada, existe una amplia presencia porcentual de este índice granulométrico en comparativa con limos y arcillas. Así, aunque el material presente en la localidad, por definición no resulta propicio para la elaboración de barro liviano, ya que en la teoría, la elaboración del mismo es únicamente aconsejable cuando se tiene una materia prima con alto contenido de arcillas, la búsqueda de una envolvente no estructural que sea auxiliar a las edificaciones rurales ya existentes y que esta sea de bajo peso o densidad, hace que esta técnica sea una alternativa viable.

Aquí es donde el proceso de estabilización, aunada a la valoración de las características y requerimientos del hábitat, se convierte en una opción para la solución de problemáticas técnicas que la construcción en tierra puede enfrentar. Al señalar que uno de los problemas existentes en las viviendas analizadas en sitio en el capítulo anterior es el exceso de HR, se debe considerar que las fibras vegetales son elementos higroscópicos que son sensibles a la retención de humedad, aun cuando su uso sea en exteriores. Por tal razón, aunque la norma N.CMT.4.03.001/17 indica que la aplicación de cal como estabilizador en suelos reduce el índice plástico y su uso es recomendable para suelos altamente arcillosos, se propone evaluar la adición de este elemento y hacer comparativa con polisacáridos disponibles.

4.6. Alternativa estabilizadora a la barbonita para tierra aligerada

Se recuerda que uno de los principios básicos en la elaboración de barro liviano es la presencia de una muestra de tierra altamente proporcionada en arcillas, misma cuya definición puede ser variable a la de la industria cerámica. Para el caso de la edificación en tierra cruda, se entiende que la *barbotina* es la mezcla de acilla que se encuentre preferentemente en suspensión con una mezcla de agua, cuyas proporciones dependen de las características de la arcilla. Posterior a ello se añade una fibra vegetal en el caso de la técnica de barro liviano, se mezcla y se retira una vez humectada con *barbotina*, donde posterior a ello se procede a realizar un encofrado con este material resultante apoyándose de una estructura principal, que regularmente es de madera.

Al no contar con estas condiciones de suelo aglutinante, se procede a realizar pruebas apoyándose en estabilizantes que buscan comparar el uso mismo de un inerte de origen mineral (óxido de calcio) y otro físico-químico con cualidades ligantes (mucílago de maguey) para evaluar un posible uso de estos elementos para su implementación en la técnica de tierra aligerada y que lleven a análisis futuros más específicos sobre sus resultados. El tema del mucílago de maguey (*Agave salmiana*) se retoma en base a que es una especie biótica dominante en la región, que al ya no existir una producción de pulque llega a ser desaprovechado.

Por otro lado las fibras que se analizarán corresponden a tres residuos agrícolas que se pueden obtener en la localidad, mismos que son la paja de avena, paja de haba y las ramas de arbusto de bajo tamaño, que de acuerdo a información estadística de la Secretaría de

Desarrollo Social (2011) corresponde a la especie *Phymosia rosea*. Para ello, se procede a cortar las ramas de arbusto y la paja de avena en 10.0 ± 0.1 cm de longitud, en el caso de la paja de avena no se realiza este proceso ya que sus longitudes son menores. Una vez que se tienen las fibras se propone realizar dos procesos que sustituyen la *barbotina* con arcilla para realizar la evaluación de la adherencia de las fibras, la primera constituye en envolver a las fibras con estabilizante en estado líquido y la segunda, envolver a las fibras en la muestra de tierra con estabilizante líquido. Así, se decide realizar este proceso de muestreo mediante el mucílago de maguey en *tabla 30*, donde se humecta la prueba con 100 ml. de mucílago sin algún otro elemento, para posterior a ello, envolver la muestra en una mezcla de suelo con mucílago. Se determina una proporción como una medida en un tubo de ensayo con cantidad de medida en 100 ml. Del mismo modo, la *tabla 31* muestra la variación de ensayos para la aplicación de cal hidratada, material de origen mineral que se señala conveniente dada su amplia disponibilidad comercial.

Tabla 30			
Pruebas de estabilización con mucílago de maguey			
Paja de haba			
Primer proceso	Segundo proceso		Percepción al secar en 30 días
Mucílago de maguey	Proporción del mucílago de maguey	Proporción del suelo	
100 ml.	1	1	Poca adherencia
100 ml.	1	2	Poca adherencia
100 ml.	1	3	Poca adherencia
100 ml.	1	4	Poca adherencia
100 ml.	1	5	Poca adherencia
Paja de avena			
100 ml.	1	1	Adherencia media con pulverulencia
100 ml.	1	2	Adherencia media con pulverulencia
100 ml.	1	3	Poca adherencia
100 ml.	1	4	Poca adherencia
100 ml.	1	5	Poca adherencia
Rama de arbusto			
100 ml.	1	1	Adherencia media con pulverulencia
100 ml.	1	2	Adherencia media con pulverulencia
100 ml.	1	3	Adherencia baja con pulverulencia
100 ml.	1	4	Poca adherencia
100 ml.	1	5	Poca adherencia
La muestra se realizó en un molde de $10.0 \pm 0.1 \times 3.5 \pm 0.1 \times 3.5 \pm 0.1$ cm, del cual se obtuvo a los 30 días del secado, las observaciones aquí planteadas muestran únicamente una percepción empírica al tacto y a la vista. Fuente: Autor.			

Tabla 31			
Pruebas de estabilización con cal hidratada			
Paja de haba			
Primer proceso	Segundo proceso		Percepción al secar en 30 días
Lechada de cal (proporción 1/10) con agua	Cal hidratada	Proporción del suelo	
100 ml.	1	1	Adherencia media con disgregación
100 ml.	1	2	Adherencia baja con disgregación
100 ml.	1	3	Poca adherencia
100 ml.	1	4	Poca adherencia
100 ml.	1	5	Poca adherencia
Paja de avena			
100 ml.	1	1	Adherencia aceptable
100 ml.	1	2	Adherencia aceptable
100 ml.	1	3	Adherencia media y pulverulencia
100 ml.	1	4	Poca adherencia
100 ml.	1	5	Poca adherencia
Rama de arbusto			
100 ml.	1	1	Adherencia aceptable
100 ml.	1	2	Adherencia aceptable
100 ml.	1	3	Adherencia media y pulverulencia
100 ml.	1	4	Adherencia media y pulverulencia
100 ml.	1	5	Poca adherencia
La muestra se realizó en un molde de 10.0±0.1x3.5±0.1x3.5±0.1 cm, del cual se obtuvo a los 30 días del secado, las observaciones aquí planteadas muestran únicamente una percepción empírica al tacto y a la vista. Fuente: Autor.			

Las tablas anteriores reflejan que el comportamiento de un cementante como la cal hidratada posee una mejor percepción en el desempeño de adherencia de la muestra respecto a las muestras obtenidas bajo un procedimiento similar, pero con mucílago de maguey. De esta manera, la *figura 26* muestra una serie de imágenes que comparan visualmente el mejor comportamiento obtenido durante estos ensayos en cada uno de los rubros indicados en las tablas anteriores. Igualmente, se menciona que las percepciones visuales y al tacto aquí señaladas son de carácter empírico y se basan en la búsqueda de tener una relación de proporción aproximada que permita una posterior evaluación en cuanto a peso y densidad de la muestra. Se menciona también, que las muestras a las cuales se les agregó cal tuvieron una mayor resistencia a la humedad, en comparativa con las probetas realizadas con mucílago de maguey, es por tal circunstancia y debido a que los valores de HR se reportan como elevados en las viviendas rurales contemporáneas, que se decide implementar al proceso de cal hidratada como el conveniente para los muestreos de densidad.



Figura 26. Las imágenes mostradas como a, b y c, muestran la reacción de las fibras al agregar mucílago de maguey, siendo la muestra c que utiliza ramas de arbusto la más estable de las tres. Para el caso del empleo de cal hidratada, se observa un desempeño más favorable, salvo el caso d, correspondiente al empleo de paja de haba. Fuente: Autor.

Cabe mencionar que de manera general, se observaron las mismas condiciones al verter las proporciones de suelo-estabilizante en la mezcla líquida del primer proceso, por lo que pueden ser alternativas a estudiar y verificar a futuro. Una vez que se define el uso de la cal hidratada como el elemento que da mayor estabilidad a las muestras así como una posible capacidad bactericida a la cual se le atribuye la cal, se procede a realizar probetas cilíndricas

con dimensiones de $8.4 \pm 0.1 \times 3.4 \pm 0.1$ cm., para verificar la densidad del material propuesto en el siguiente capítulo. En ellas se vierte el material en estado húmedo y se deja secar durante un periodo de 30 días para su posterior comparativa en estado seco.

En este sentido, se busca que la técnica propuesta debe tener una densidad propia del sistema cercana a los 350 kg/m³, cual se tomará como referencia en las simulaciones realizadas virtualmente, ya que no es la envolvente principal del objeto arquitectónico. La *tabla 32* muestra una comparativa de peso en las muestras realizadas tanto con ramas de arbusto como con paja de avena de acuerdo a sus proporciones, dado que fueron las que mostraron un mejor resultado.

Tabla 32			
Relación de proporciones para tierra aligerada			
Paja de avena			
Cal hidratada	Proporción del suelo	Proporción fibra vegetal	Densidad (kg/cm ³)
1	1	5	378.16
1	2	4	379.96
1	3	3	570.66
1	4	2	720.11
1	5	1	878.26
Ramas de arbusto			
1	1	5	470.35
1	2	4	420.01
1	3	3	688.22
1	4	2	715.19
1	5	1	718.44
En esta relación empírica, se observa que existe una tendencia a la disminución de la densidad en el aumento de fibras vegetales para ambos casos, se señala que los ensayos fueron realizados una única vez y para ejemplos futuros se propone la verificación mediante varios casos de análisis de la densidad, ya que pueden influir factores externos al no tratarse de una prueba con bases científicas. Fuente Autor.			

En la tabla anterior se observa que la proporción 1:1:5 (*figura 27*) en relación cal-suelo-paja de avena tiene un valor cercano al conveniente así como una estabilidad más adecuada que la proporción 1:1:4 con el mismo agravado vegetal, por ello se opta por tomar la proporción 1:1:5, considerando es la más óptima y cercana al valor referencial que se tomará en las simulaciones del próximo capítulo, incluso por encima de la elaborada con ramas de arbusto. Se señala que para los ensayos de proporciones relacionados a la densidad de la muestra, el

tener una mayor cantidad de fibra vegetal disminuye los valores aparentes en esta. Asimismo, de acuerdo a Holzhueter e Itonaga (2018), un valor estimado para los sistemas de barro liviano es de 356.27 kg/cm³, mismo que se tomará como referencia en condiciones de que los ensayos aquí presentados fueron realizados de forma empírica y pueden existir diversas variantes.



Figura 27. Tras la elaboración de las probetas cilíndricas, la obtenida con proporciones 1:1:5, resulta ser la más conveniente debido a la densidad obtenida y la adherencia entre fibras y agregados.

Fuente: Autor. Año : 2019.

Conclusiones de capítulo

El suelo de la localidad presenta una condición con proporciones altamente arenosas respecto a otras granulometrías, ello se refleja en la aplicación de técnicas en tierra compactada que se desarrollaron como expresión de la arquitectura vernácula hoy prácticamente desaparecida en

la región. Asimismo, el estudio de los suelos se desarrolla en campo mediante pruebas empíricas que den cuenta de su calidad, pero también en laboratorio mediante la obtención del Límite Líquido y Límite Plástico, mismos que para el caso de la muestra no pueden ser obtenidos, ya que la curva del Límite Líquido queda fuera de medición al tener poca presencia de arcillas, condición que queda medible en índices granulométricos.

Por ello, una solución técnica que pueda favorecer a la solución de condiciones climáticas en interiores de la vivienda rural contemporánea local sin impactar de manera significativa en las edificaciones ya realizadas, es la aplicación de capas exteriores de barro liviano. Dicha técnica en origen está planificada para realizarse con material altamente arcilloso, mediante un proceso que implica la humectación de fibras vegetales en barbotina, para su posterior aplicación en una estructura portante. Por lo que al no tener las condiciones granulométricas requeridas en el suelo local, se propone una alternativa a través de ensayos que faciliten su realización en campo y cuyos datos sería conveniente correlacionarlos con equipo de laboratorio, proceso que no fue realizado en esta investigación.

Es por este motivo que se busca una densidad cercana a 356.27 kg/cm^3 , mediante ensayos que varíen la proporción de los agregados, que en este caso se definió como cal hidratada en pasta, suelo tamizado por una malla del No. 40 y paja de avena, siendo un valor cercano a este valor, la proporción de 1:1:5. El valor de la densidad en este caso, depende de la aplicación de manufactura y se tomará el valor bibliográfico como efectivo para la realización de las simulaciones energéticas virtuales.



5

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN DE LA TIERRA ALIGERADA PARA MEJORAR LA SENSACIÓN TÉRMICA

Tras la evaluación de las condiciones del suelo local para su implementación como mecanismo termoaislante a través de la técnica de tierra aligerada, se procede a la verificación de su comportamiento como elemento auxiliar de retraso térmico en fachadas correspondientes a la vivienda rural de manufactura contemporánea en la localidad de estudio. No obstante las proporciones referidas en esta investigación se centran principalmente en la reducción de la densidad, para con ello, reducir el valor de conductividad térmica de los elementos propuestos, sin embargo, está abierta la posibilidad de que investigaciones futuras puedan proporcionar mejora en los procesos aquí propuestos que permitirán el perfeccionamiento de los planteamientos aquí mostrados.

De igual manera, aunque el análisis con el que se cierra la investigación y que comprende el capítulo final, comprende una serie de apoyos y simulaciones basados en herramientas informáticas como Design Builder® en su versión a prueba por 30 días, se debe señalar la implicación que este tipo de software debe tomar en la serie de consideraciones para el perfeccionamiento de propuestas arquitectónicas como el modelo aquí planteado y que puedan tener una puesta en obra y uso con mayor satisfacción del usuario. Esta circunstancia se menciona ya que las técnicas con materiales regionales en pocas ocasiones son analizadas bajo estos parámetros y en mucho menor medida, se plantea la situación de la vivienda popular mexicana y sus usuarios.

Así, el primer punto en ser tocado en esta sección capitular se dirige hacia la valoración de los rangos de conductividad térmica y densidad de algunos materiales que servirán para las simulaciones digitales, valores que se verán reflejados en gráficas mostradas en la segunda sección enfocada a un previo análisis de los valores de transmitancia, retraso y resistencia térmicos que servirán para definir la utilización de determinados materiales para la valoración en campo a través de módulos de mampostería que traten de asemejar las condiciones ambientales a las que una vivienda se puede enfrentar.

Dichos valores serán registrados en un rango de 30 días, para obtener valores de T y HR, para así, verificar las hipótesis planteadas de origen y en su caso, valorar las rectificaciones pertinentes. Se menciona que el apartado final, dedicado a la simulación virtual en base a Design Builder® con el motor de Energy Plus® se centra en dichas modificaciones, por lo que se plantea una solución que de alguna manera pueda llevarse a cabo a futuro.

5.1. Propiedades térmicas de la tierra aligerada en comparativa a otros materiales

Una vez definidas las condiciones que brindan la densidad preferente para incorporar a la mezcla como sistema termoaislante toda vez que ha finalizado su proceso de secado, se menciona la relación entre ligereza del material compuesto en seco como reducción de su densidad (relación de la masa contenida en un volumen) y la disminución de su valor de conductividad térmica (λ) que esta consideración representa. Por lo tanto, la adición de fibras vegetales o elementos minerales de bajo peso como es el caso del tepojal, influyen en la reducción de valores (λ). Esta relación es evidente también en las viviendas vernáculas de la región, debido a que por circunstancias técnicas, los sistemas se basaban en soluciones en base a tierra compactada o mamposterías de piedra con altos índices de densidad, mismos que necesitaban grandes espesores para cumplir con las necesidades de retraso térmico.

Sin embargo, se recuerda que las expresiones arquitectónicas de toda localidad están estrechamente ligadas a su medio cultural, pero también a ensayos de prueba y error, donde seguramente por los recursos materiales y humanos, estas soluciones también resultaron ser las más eficaces. De esta manera, las herramientas contemporáneas nos permiten realizar esos ensayos utilizando los medios digitales para así, poder explorar entre diversas alternativas previas a la puesta en obra. Es por esta razón, que para hacer una evaluación previa de un sistema propuesto a partir de la tierra aligerada como aislante térmico, se debe comprender que aparte de poseer un valor reducido de conductividad térmica y como consecuencia, un elevado índice de resistencia térmica, la capa propuesta debe realizar la tarea de amortiguamiento y desfase térmico, mismos que son parte del principio de inercia térmica.

Cabe recordar que en el caso de las viviendas donde se registraron datos de T y HR, solamente para uno de los casos se obtuvo un periodo comprendido entre las 14:00 y las 16:00 horas como horario dentro de parámetros de confort, mientras que para la carta adaptativa de ASHRAE, ninguna de las dos viviendas analizadas arrojó datos que puedan considerarse dentro de los parámetros de sensación térmica favorable. Tales circunstancias pueden solucionarse con sistemas mecánicos -que implican un gasto energético poco conveniente- o sistemas de aislamiento disponibles en el mercado -cuyo impacto ambiental es considerable-, por ello, la alternativa de buscar un sistema de amortiguación o masa térmica de baja densidad, puede ser favorable si esta se torna en los parámetros de los sostenible y en medida de lo posible no altere o modifique las estructuras ya existentes con mamposterías contemporáneas. Bajo esta consideración, se plantea la evaluación previa de las soluciones posibles así como una

comparativa con otro tipo de sistemas, materiales y condiciones posibles que puedan incrementar el amortiguamiento térmico, toda vez que la intención primaria de la investigación no es llevar hacia un sistema de construcción para nueva edificación, sino plantear soluciones que se adecuen a las edificaciones ya existentes y que en la mayoría de los casos no poseen acabado alguno, es decir, se encuentran en obra negra.

De esta manera, se plantea el uso de una hoja de cálculo de la compañía *Ytong*® y mencionada por la Arq. Gabriela Aquino en una conferencia para el Ilustre Colegio Nacional de Ingenieros y Arquitectos de México⁴² como herramienta auxiliar a la obtención de datos que permitan plantear de manera general rangos de desfase térmico. Tal instrumento solicita al usuario valores de conductividad térmica, densidad y calor específico, para lo cual, previa densidad obtenida en pruebas equivalente a 356.27 kg/cm³ para la muestra de tierra aligerada, se asigna un valor de $\lambda=0.067$ W/mK con referencia a Holzhueter e Itonaga (2018). El valor referido a este compuesto implica a los tres casos de material compuesto con suelo, cal, tepojal y fibra vegetal, recordando que en el caso de la localidad, las fibras que pueden emplearse son la paja de haba, la paja de avena o residuos del árbol conocido como ocomozote. El caso del zacate de maíz, queda descartado por ser el menos conveniente para colocar en campo dadas sus características químicas que lo convierten en un alimento atractivo para diversos roedores.

Asimismo, se referencian datos bibliográficos de conductividad térmica en función del block de concreto como elemento de mampuesto existente en muros y que no se modificará, al aire como elemento que se puede aprovechar en su condición ambiental, para realizar espacios entre o cámaras entre las diversas capas que compongan las diversas soluciones propuestas, al igual que el poliestireno expandido (EPS) cuyo uso en la actualidad se le vincula con efectos tóxicos a organismos vivos, principalmente cuando se utiliza en utensilios para la alimentación, pero cuya composición es de baja densidad y puede ser un referente para equiparar las condiciones de conductividad de la mezcla de tierra.

A partir del principio en que la tierra aligerada es un sistema donde se pueden emplear múltiples compuestos, se evalúa en laboratorio un caso de suelo sin agregados y uno más con corcho como agregado, con la finalidad de tener datos comparativos del suelo utilizado. Para la evaluación de estos dos casos se recibió ayuda del Laboratorio de Entornos Sostenibles de la

⁴² Aquino, Gabriela 23 de julio de 2020 Ilustre Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos de México A.C. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=OD715_wgBPI

Facultad de Arquitectura de la UNAM, a cargo de la Dra. Adriana Lira y con ayuda del Mtro. Sean Rodolfo Vilchis Martínez, bajo el proyecto CONACYT-SENER 260155, para lo cual se manufacturaron placas con dimensiones de 20.0±00.1 x 20.0±00.1 x 03.0±00.1 cm. y se empleó un medidor de propiedades térmicas KD2, de Decagon Services con sensor SH-1 de doble aguja (emisor-sensor de temperaturas) a 32 mediciones por muestra. De esta manera, se obtienen estos dos valores así como otros de referencia bibliográfica (*tabla 33*).

Tabla 33		
Valores de conductividad térmica de algunos materiales		
Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica (W/mK)
Tierra compactada sin agregados	1379.51	0.260
Tierra con con agregado de corcho	1037.02	0.186
Tierra aligerada*	356.27	0.072
Poliestireno expandido**	30.00	0.033
Aire***	-	0.026
Paja****	310	0.057
Block de concreto*****	2400	0.789

* De acuerdo a valores de Holzhuetter e Itonaga (2018).

** De acuerdo a valores de la Fundación Estudios Calidad Edificación Asturias. Documento disponible en: http://fecea.org/wp-content/uploads/2016/03/documentos_GUIA_TECNICA_EPS_Poliestireno_Expandido_v06_972d8feb.pdf

***Se toma como un valor medio de acuerdo a diversas publicaciones, al ser un gas donde puede existir mayor o menor cantidad de agua no se considera su densidad.

****Valores según Molina y Fernández (2013)

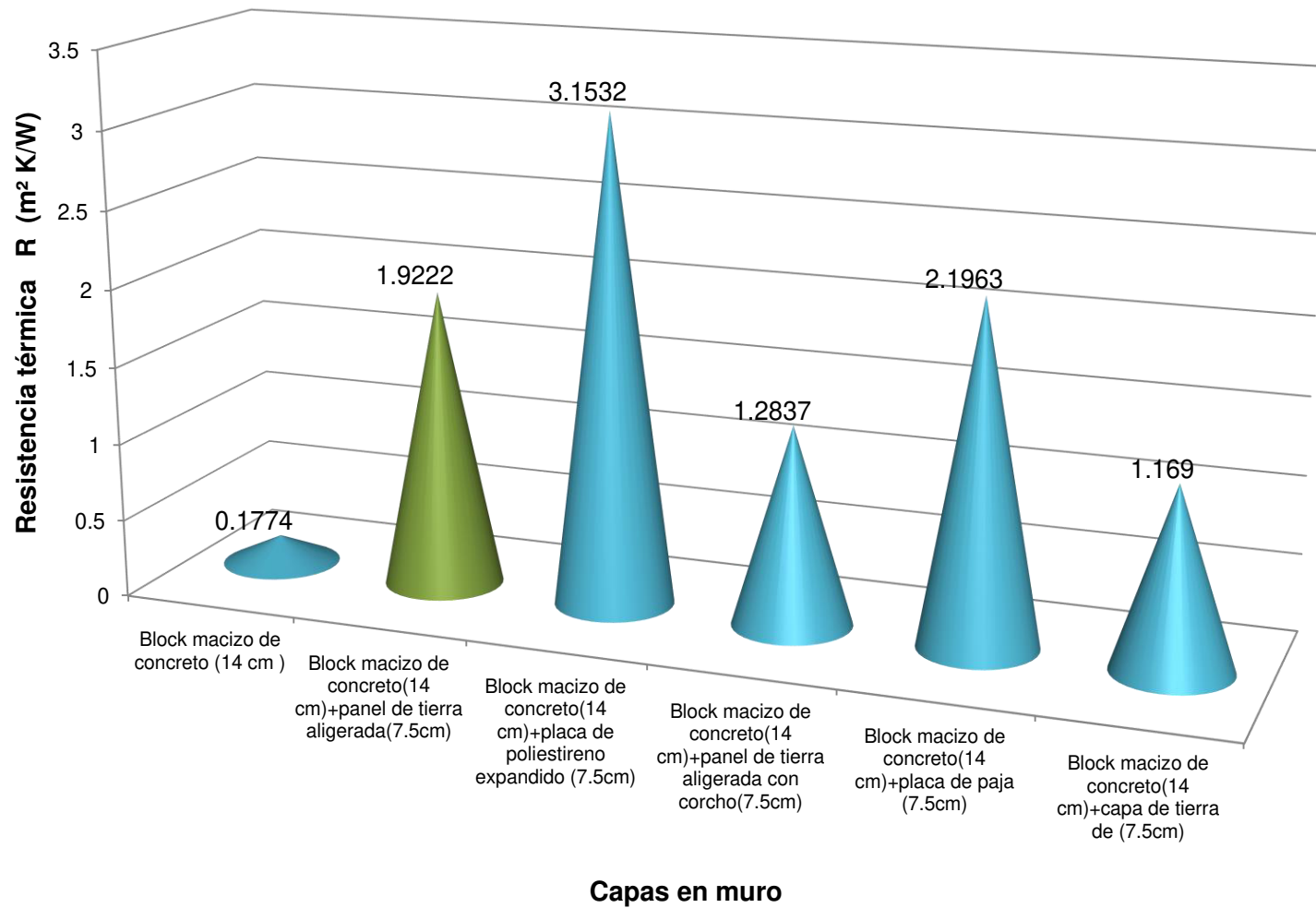
***** De acuerdo a valores de FEDIT Observatorio Industrial del Sector Construcción

Una vez que se obtienen los valores respectivos en la tabla mostrada, resalta la condición del aire como el elemento con menor conductividad térmica, mismo que al estar sujeto en cuanto a valores de densidad al periodo del día, época estacional, clima, humedad y altitud al que se encuentre, se decide no referenciar su valor específico en ese rubro y por lo tanto, asignarle un valor (λ) en el cual coinciden diversas fuentes consultadas. Así, se realiza el cálculo de valores comparativos de resistencia térmica (*tabla 34*) en posibles soluciones materiales para implementar en muros y que permitan el retraso térmico.

Las diversas variables aquí presentadas, se utilizan con la finalidad de mejorar las condiciones de bienestar en las actividades realizadas en locales arquitectónicos de las viviendas rurales del municipio analizado, de acuerdo a una hoja de cálculo realizada por la Dra. Adriana Lira para la clase de Aplicaciones Térmicas en el Posgrado de Arquitectura de la FES Aragón. Asimismo, en la *tabla 35* se muestra una comparativa en cuanto al retraso térmico en horas, con datos obtenidos igualmente por una hoja de cálculo de la compañía Ytong© que ya ha sido mencionada.

Tabla 34

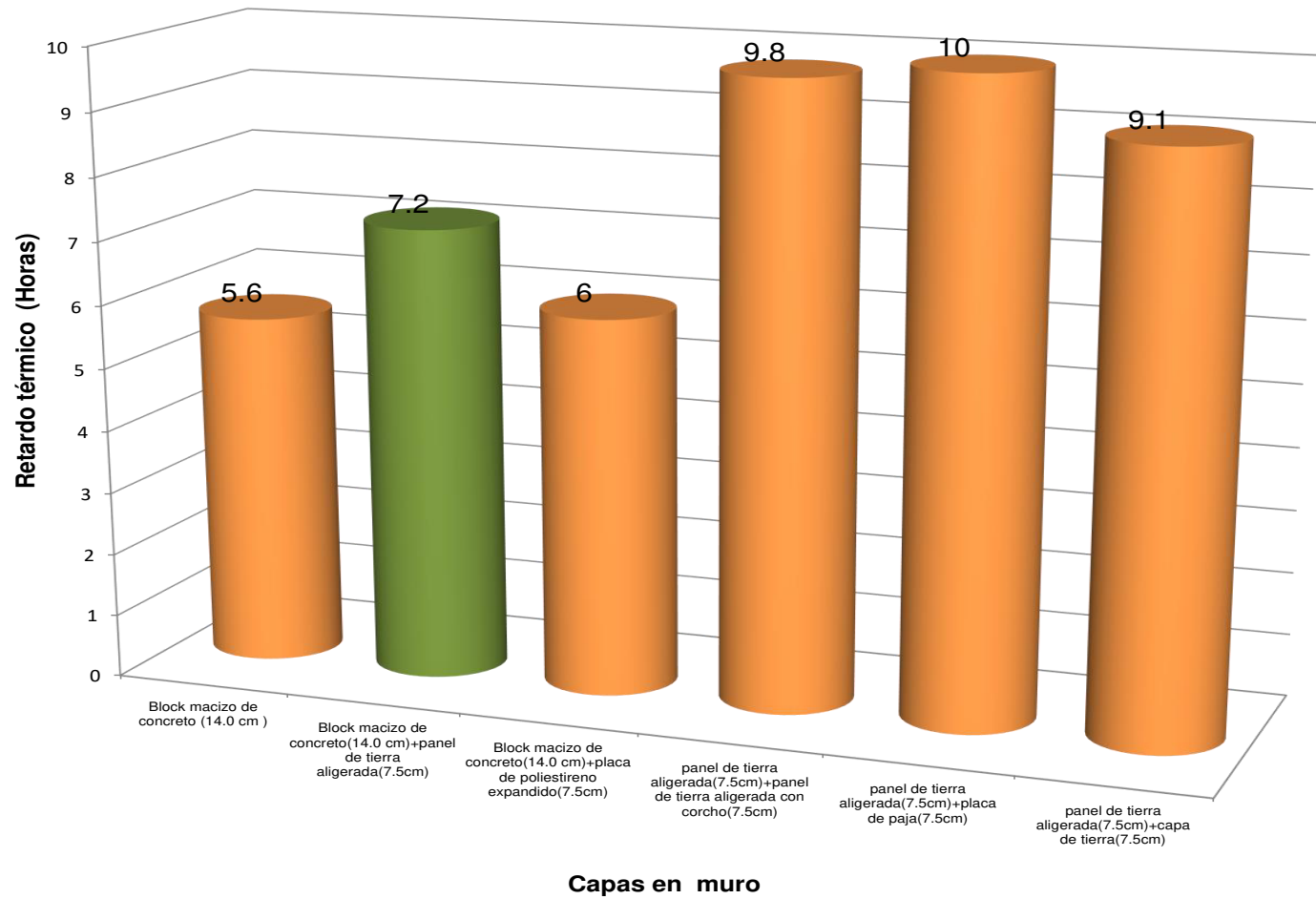
Tabla de valores de Resistencia térmica para algunas propuestas de muro



La gráfica muestra la variabilidad en los valores de Resistencia térmica según posibles composiciones de muros. Fuente: Autor. Año: 2020

Tabla 35

Tabla de valores de Retardo térmico para algunas propuestas de muro



La gráfica muestra la variabilidad en los valores de Retardo térmico en horas según posibles composiciones de muros, a partir de una herramienta digital. En color verde se resalta el material que se busca implementar, teniendo un retardo térmico menor que las últimas dos columnas, según esta hoja de cálculo. Fuente: Autor. Año: 2020

Tras la evaluación de datos y comparativa, se percibe que una vez que se realiza el montaje de la tierra aligerada sobre el muro existente de block macizo existirá una mayor resistencia térmica, no obstante, el valor reflejado en los datos obtenidos es menor que el caso de una placa de poliestireno expandido (EPS) del mismo espesor y que de una placa de paja. Por otro lado, el índice de retardo térmico en horas muestra un valor superior al caso de la placa de EPS montada sobre el muro existente y menor en otros tres casos de aplicación. La obtención de estos datos hace considerar una parte experimental en sitio, ya que los registros entre la *tabla 34* y *35* muestran discordancia y previo a la simulación virtual, ensayos físicos pueden servir para replantear y proponer objetivamente una solución.

Es necesario señalar que los casos correspondientes al muro original con la adición de panel de tierra aligerada con corcho, únicamente paja y capa de tierra local, son descartados por la situación que el corcho no es un material disponible localmente y esto incrementaría drásticamente los costos. La adición de paja puede ser una solución viable, sin embargo, la aceptación de la misma por parte de la comunidad puede ser un tanto conflictiva (incredulidad social), pero también, limitar el sistema a una sola fibra vegetal, descarta otro tipo de residuos vegetales que pudieran aprovecharse y no depender de uno solo. Mientras que para el caso de la placa de tierra, técnicamente es inviable ya que requeriría de una alta cantidad de materia prima, la cual es poco conveniente para el principio de sostenibilidad planteado. Por tales circunstancias, se prevé un ensayo en sitio con los tres primeros casos y la referencia de los otros tres ejemplos como base para una modificación que permita mejorar el sistema propuesto.

Además de ello, se debe señalar que los datos aquí representados, incluso los de origen no industrializado, pueden presentar variaciones de acuerdo a la manufactura, colocación y calidad de los materiales utilizados. Entretanto, las condiciones locales de humedad, precipitación pluvial, vientos, orientación y temperatura de bulbo seco en sitio, también repercuten en las propiedades originales de densidad y conductividad térmica de los elementos que componen una edificación. Para el caso de la tierra aligerada, estas variables pueden incrementarse aún más en los procesos de manufactura cuando no existe un control de calidad, lo cual es muy común en la autoproducción de vivienda.

5.2. Verificación de respuesta térmica en sitio

Para la evaluación del comportamiento térmico en locales interiores con sistemas de edificación contemporánea en las viviendas rurales de la localidad, se toma en cuenta la técnica de mamposteado con block macizo de concreto de 0.14x 0.20x 0.40 cm., misma que debido a su bajo costo y reducción en tiempos de ejecución de obra ha tomado bastante aceptación por los pobladores locales frente a otros sistemas actuales y tradicionales. Por esta circunstancia, la investigación presente propone la realización de módulos de mamposteado de dimensiones de 0.80 x 0.60 x 1.00 m., manufacturados con esta técnica y con juntas de cemento-arena, mismos a los cuales se les coloca una lámina metálica sin algún otro elemento añadido, que simulará los sistemas de cubierta que poseen las viviendas más endebletes ante las la transferencia y pérdida de calor en las viviendas de esta región.

Bajo estas circunstancias, se propone la colocación de cuatro equipos de medición de temperatura de bulbo seco (T) y humedad relativa (HR), conocidos comúnmente como *dataloggers*, mismos que son de la marca Elitech®, modelo GSP-6®, con rango de incertidumbre de ± 0.5 °C para temperatura de bulbo seco y $\pm 3\%$ para humedad relativa. La ubicación de estos equipos de medición se realiza de la siguiente manera: uno colocado en ambiente exterior a una altura de 2.00 ± 0.05 m sobre el nivel de piso terminado, para tomar el registro de la T y HR exteriores, mientras que los otros 3 equipos restantes se colocan, cada uno, en un módulo de mampostería de block macizo con las características ya señaladas en el párrafo anterior y que en sus fachadas buscan asimilar las condiciones de hipotéticos sistemas de aislamiento (*tabla 31*).

Para el primer módulo, se contempla la recreación de la solución más común en las viviendas autoproducidas, por lo que no se contempla ningún tipo de acabado por exterior ni interior. En el segundo caso se repite este elemento de mamposteado, pero añadiendo placas de EPS por las cuatro caras exteriores del módulo a evaluar. Mientras que para el tercer caso, al módulo base se le fijan bastidores con paneles de tierra aligerada, en este caso suelo local, cal hidratada y paja de avena en proporciones 1:1:5, se señala que no obstante para este ejemplo se opta por usar la paja de avena como elemento vegetal, se conserva el valor de densidad que pueda aplicarse con algún otro residuo orgánico mencionado en el capítulo 4.



Figura 28. Se muestran los módulos experimentales realizados en campo.

- a) Con mampostería de block macizo de concreto sin acabado alguno.
- b) Con mampostería de block macizo de concreto, con placas de EPS como acabado.
- c) Con mampostería de block macizo de concreto, con placas de tierra aligerada como acabado.

Fuente: Autor.

Se menciona la aplicación de un revoque (mezcla cal-arena 1:3) con espesor no superior a 1.0mm en la zona de las juntas con la intención de que los tres módulos quedaran sellados en estas zonas y lograr tener la menor filtración posible de aire exterior, así como también, que se realizó un enlucido de cemento-arena de espesor 3.00 cm. Asimismo, se señala que para la realización de la capa de EPS mondada sobre el módulo *B* se utilizaron dos placas sobrepuestas de este material (una de 1" y otra de 2" respectivamente) para cumplir con los 7.5 cm que posee el espesor del panel de tierra aligerada que propone como eje de investigación y exista una comparativa que no sea alterada por variaciones en este parámetro.

Mientras que el modulo *C* que fue ensamblado con bastidores de madera de pino cuyo espesor es de 7.5", material que fue obtenido comercialmente y tiene la particularidad que su capa interna fue realizada con tierra aligerada con tres meses de manufactura previa a su montaje en el módulo. Esta consideración se realizó para no obtener madera local y la antelación del proceso con el fin de que el periodo invernal no determina variables ajenas al

panel por un incremento de HR y descenso de T , producto de la humedad misma de la capa de tierra aligerada.

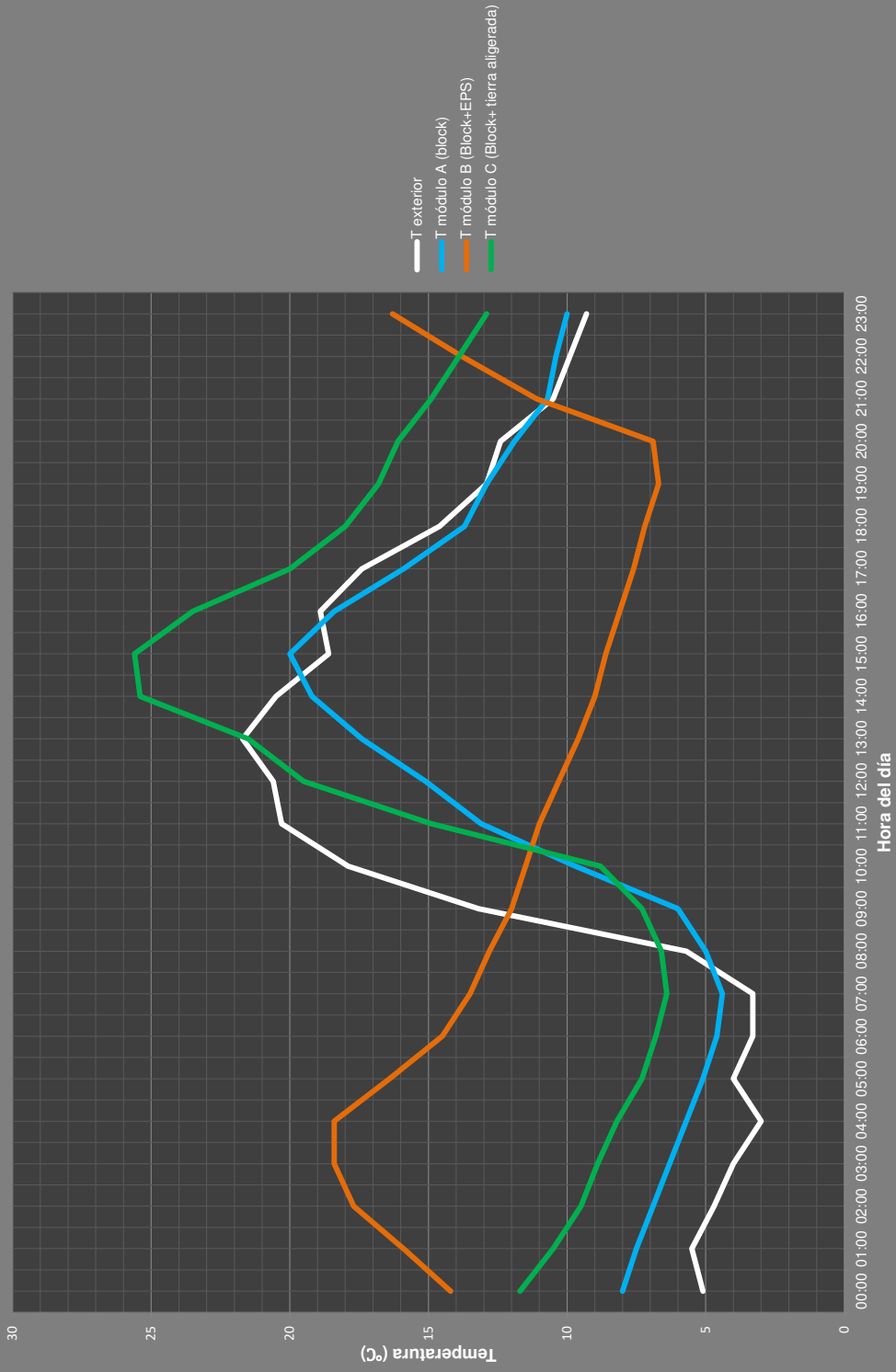
Respecto a la colocación de los *dataloggers* al interior de los módulos, la ubicación de ellos es en la parte superior central de cada respectivo caso de estudio, mismos que al no tener los sensores en la parte física del aparato sino en extensiones, se tomó la decisión de suspenderlos a partir de la fijación del aparato y colocarlos con una separación de 5.00 cm uno del otro (T y HR), a una altura de 40.00cm sobre el nivel del piso (NP) en los tres casos de análisis. Se considera importante mencionar esta situación, porque los datos registrados corresponden a un punto central tridimensional en cada módulo, pero también, su registro es susceptible al movimiento, el cual se buscó minimizar mediante el sello de las juntas que evite filtraciones de aire que alteren el registro y el movimiento, pero aun con ello se debe considerar que los datos pueden tener un rango de error.

Para el caso del *datalogger* encargado de registrar la T y HR exteriores, este se colocó a 6.20 m sobre el NP en un punto exterior, con los sensores colocados a una distancia de 5.00 cm el uno del otro, por las circunstancias de exposición directa al ambiente de este equipo de medición, se señala que el mismo estuvo en contacto con las primeras horas de la radiación solar, así como a una mayor sensibilidad al movimiento de los sensores como consecuencia de los vientos. En las tablas 31 y 32 se muestran las gráficas obtenidas una vez promediados los datos obtenidos en el periodo del mes de diciembre de 2020 para la comparativa de los valores T y HR en los tres módulos y condiciones ambientales.

En los registros obtenidos para los rangos T , se puede observar que la temperatura exterior mantiene un rango por debajo de los 6.0 °C hasta las 8:00 hrs. que es cuando comienza su ascenso, teniendo el registro más elevado a las 13:00 hrs., cuando comienza su descenso gradual. Asimismo, se observa en el comparativo de los tres módulos que el valor T sigue la misma tendencia en los módulos A y C, existiendo en este último un registro superior a los 20.0 °C entre las 11:30 y las 17:00, contrario al módulo A que aunque sigue la misma tendencia, no logra superar ese valor. Respecto al módulo C, se observa una predisposición al retraso térmico, sin embargo aunque se muestra un mayor resguardo del calor al interior del módulo durante el periodo con mayor descenso de T , su pico máximo no llega a estar arriba de los 20.0 °C, y a partir de las 4:00 hrs. El valor de T comienza su descenso, teniendo el punto más bajo a las 19:00 hrs para a partir de este punto, comenzar a ascender nuevamente.

Tabla 36

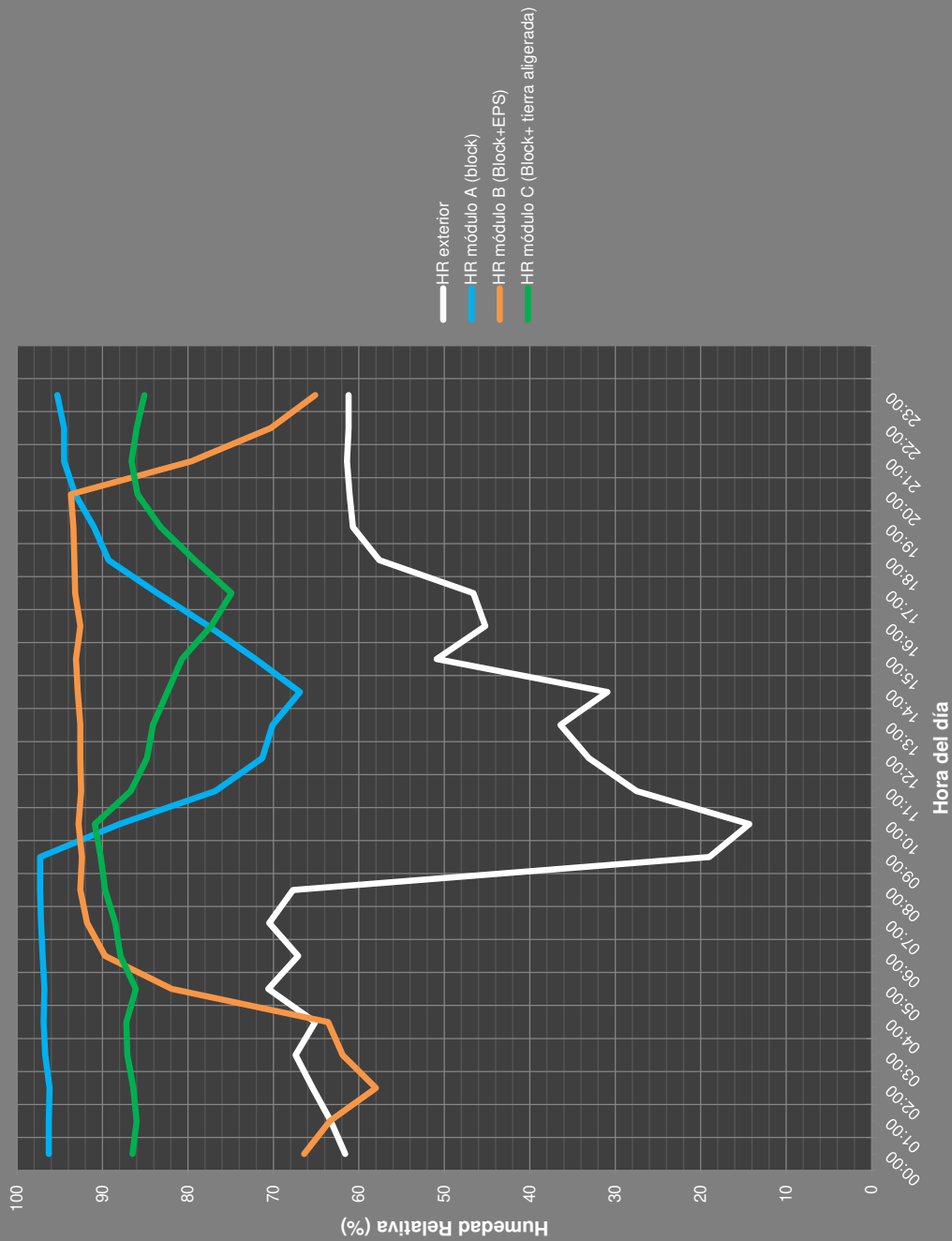
Registro de temperatura en un día promedio del mes de diciembre de 2019



En esta gráfica se representan y se comparan los valores de temperatura para cada uno de los 4 registros tomados de los cuatro *dataloggers*, se menciona que los valores aquí mostrados son el promedio por hora para el periodo del 01 de diciembre al 31 de diciembre de 2019. Fuente: Autor. Año: 2020

Tabla 37

Registro de humedad relativa en un día promedio del mes de diciembre de 2019



En esta gráfica se representan y se comparan los valores de humedad relativa para cada uno de los 4 registros tomados de los cuatro dataloggers, se menciona que los valores aquí mostrados son el promedio por hora para el periodo del 01 de diciembre al 31 de diciembre de 2019. Fuente: Autor. Año: 2020

Al analizar la comparativa entre los tres módulos se observa que el modulo base (A) muestra una tendencia fuera de los rangos de sensación térmica agradable, tal y como se observó en los registros de la vivienda del capítulo 3. Por otro lado, la capa exterior de EPS

añadida a la mampostería original muestra una tendencia esperada, sin embargo, los datos obtenidos quedan fuera de los parámetros de bienestar para el cuerpo humano, por lo que es posible que un espesor mucho mayor refleje una estabilidad térmica más cercana a lo esperado. Asimismo, el módulo que considera la adición de un sistema de tierra aligerada presenta una mejora en cuanto al comportamiento de T dentro de los rangos de confort humano, no obstante, esta situación, únicamente ocurre dentro de las 13:00 a 16:00 horas.

Con respecto a los valores de HR se observa un valor superior en los ambientes interiores de los tres casos comparativos con respecto al registro de HR exterior, existiendo valores superiores en el módulo que contempla placas de EPS en comparativa directa con el módulo de tierra aligerada, desde las 06:00 hasta las 21:00 horas. Cabe mencionar que para el caso del módulo A, existe un incremento en el valor de HR en las horas nocturnas donde no existe ganancia de radiación solar, condición que aunada al descenso de T, puede incrementar la sensación de estrés térmico por sensación de frío, situación que en la localidad es la causa del principal malestar térmico en los pobladores, independiente de su rango de edad.

Las circunstancias en cuanto a rangos de T y HR mostradas en este ejercicio, hacen considerar que la solución planteada con un sistema de tierra aligerada, aun cuando llega a mostrar una tendencia más favorable que el caso base con block macizo de concreto sin acabados, se percibe que este sistema no llega a ser suficiente por si mismo para mantener espacios interiores dentro de rangos de bienestar. Así, es necesario mencionar que el sistema propuesto para la realización de los módulos aquí mencionados puede no resultar favorable para las condiciones deseadas, por lo que una mejoría del sistema puede ser evaluada en base a las tecnologías informáticas dirigidas hacia estos rubros.

5.3. Simulación por computadora del sistema para una vivienda rural contemporánea local

De acuerdo a los ensayos en campo el comportamiento térmico del sistema de tierra aligerada requiere ajustes que permitan incrementar su efectividad, así como de su viabilidad que lo permita llevar a cabo en campo en una mayor escala, bajo estas premisas, se procede a evaluar el sistema en primer lugar, mediante el cálculo y herramientas digitales. En el punto anterior, se pudo observar que existe una discordancia entre los cálculos originales de la hoja

de cálculo referente al retardo térmico en muros y los ejercicios realizados en campo, ya que en este caso se preveía un mejor comportamiento por parte del módulo que añadía mamparas de tierra aligerada que el caso analizado con placas de EPS, situación que en campo se verificó como poco acertada, siendo más cercano al ensayo en campo el cálculo realizado para la resistencia térmica, por lo que se realiza una vez más este análisis pero con casos referentes a la aplicación de tierra aligerada.

Para ello se procede a la realización de simulaciones digitales a partir del software Design Builder© mediante el motor de análisis de Energy Plus©, se menciona que las pruebas realizadas en esta herramienta fueron hechas mediante la licencia de evaluación por 30 días. Asimismo, al no contar con datos climáticos de la localidad de estudio, se utilizó la ubicación de la Ciudad de Puebla en este software, esta consideración se debe tomar en cuenta ya que la comunidad analizada tiene un descenso térmico variable a la capital del Estado y que se toma como referencia para la comparación de datos. Así, Se realiza un modelo en el *software* mencionado en referencia a una vivienda de la localidad (*figura 29*)

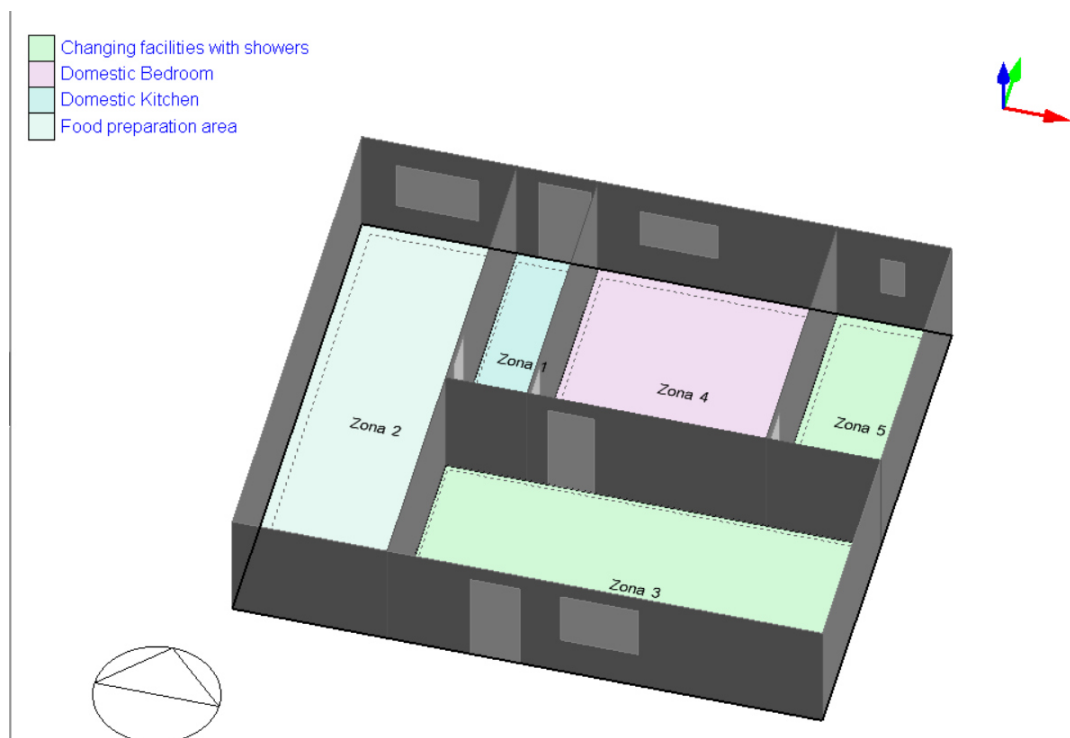


Figura 29. Vista axonométrica del modelo realizado para implementar las simulaciones energéticas virtuales.

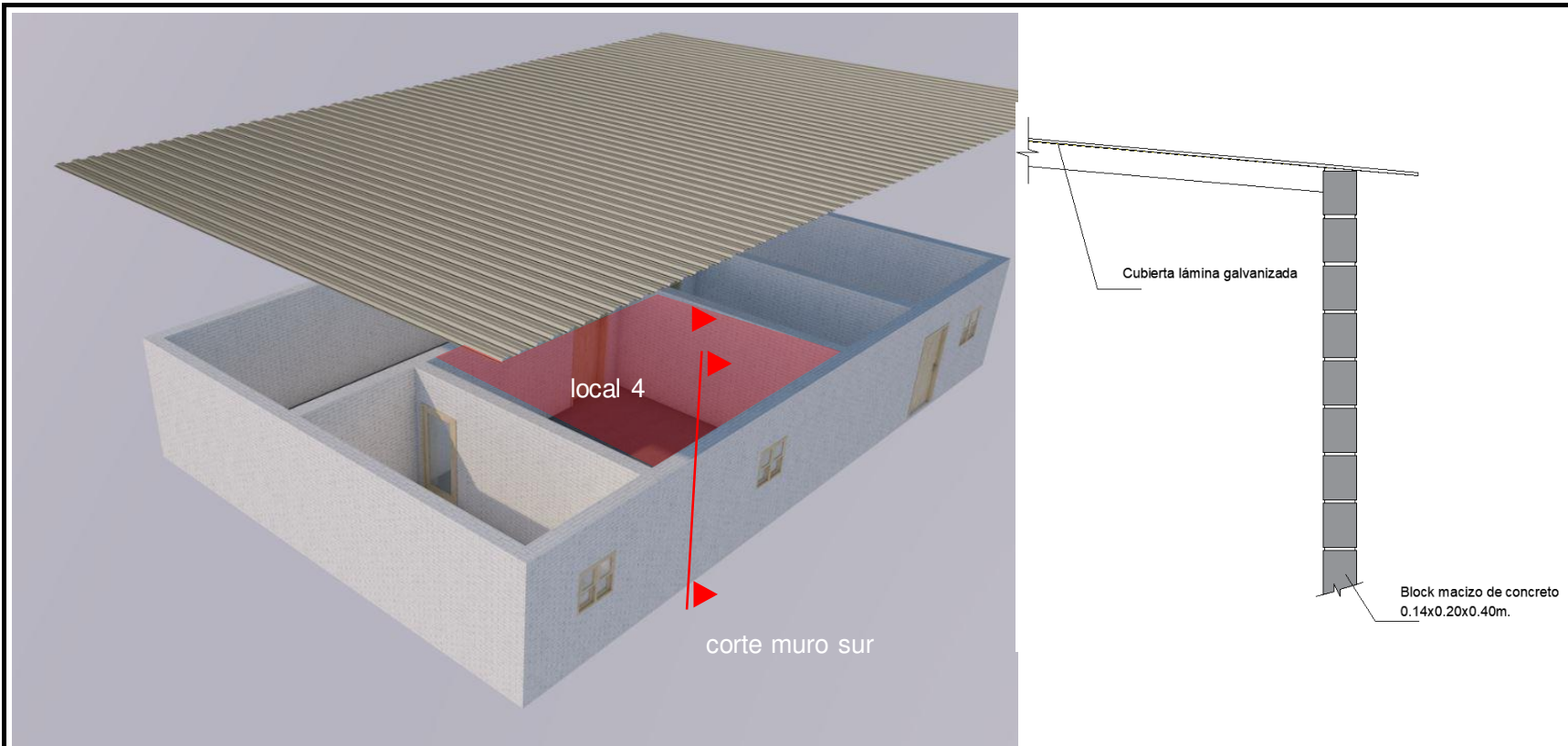
Fuente: Autor.

En este caso, la vivienda analizada corresponde a la ya valorada en el capítulo 3 constituida en muros originales de tabique rojo y anexos con block macizo, así como cubiertas intercaladas de asbesto y metálica. Para unificar los sistemas de muro y orientarlos hacia el material predominante en mamposterías, se retoman las dimensiones originales de la vivienda analizada pero se unifican en material de block macizo de concreto y lámina metálica. En el modelo se reflejan 5 zonas de acuerdo a diversas actividades que se realizan dentro de la vivienda, sin embargo, se selecciona la zona 4 como análisis referencial para la serie de simulaciones, de acuerdo a la actividad de dormitorio que esta tiene y dado que es la zona que se ocupa principalmente en las horas de mayor descenso térmico e incremento de *HR*.

Se menciona que en el proceso de carga de datos y simulación las otras áreas de la vivienda se asignan de acuerdo a las actividades realizadas en cada local y sus valores son obtenidos de los datos preexistentes del software, sin embargo, en relación a los materiales o cerramientos, los valores fueron asignados manualmente para que respondieran a los datos de la anterior *tabla 33* y se tuviera un acercamiento más fidedigno al comportamiento climático en interiores. Asimismo, los valores correspondientes a las ventanas fueron fijados como cristal simple y las puertas como material metálico en referencia a las condiciones materiales actuales de la vivienda y que se repiten en un amplio porcentaje de las construcciones locales.

Respecto a la obtención y simulación de datos, se determina conveniente la realización de un análisis anual en el caso base con las condiciones de edificación ya señaladas (*caso A*), para posteriormente hacer el comparativo en el mes con condiciones climáticas más adversas el cual resulta ser el mes de diciembre. La obtención de datos en el *caso a*, permitirá la comparativa con otros modelos de simulación energética virtual que toman como referencia este ejemplo, para así llegar al planteamiento y mejoramiento del sistema propuesto con tierra aligerada y así, proponer una solución de mejoramiento térmico más fiable para los interiores de las viviendas rurales locales.

En la *tabla 38* se muestra el resultado de la simulación energética del *caso A* (figura 30), con parámetros de confort a lo largo de un año, para este caso, se señala que la base de datos corresponde al año 2002 existe un descenso notable por debajo de los 22 °C a partir de los meses de octubre a marzo, situación que se ve más acentuada en el mes de diciembre que coincide con los registros de uno de los meses más fríos para la zona de acuerdo a los datos de



Vista axonométrica

Corte esquemático

Figura 30. Del lado izquierdo se observa una imagen axonométrica de la vivienda analizada, mientras que del lado derecho se representa una sección esquemática del sistema analizado, ambos casos se realizan sin escala para ejemplificar la simulación realizada en el denominado caso A.

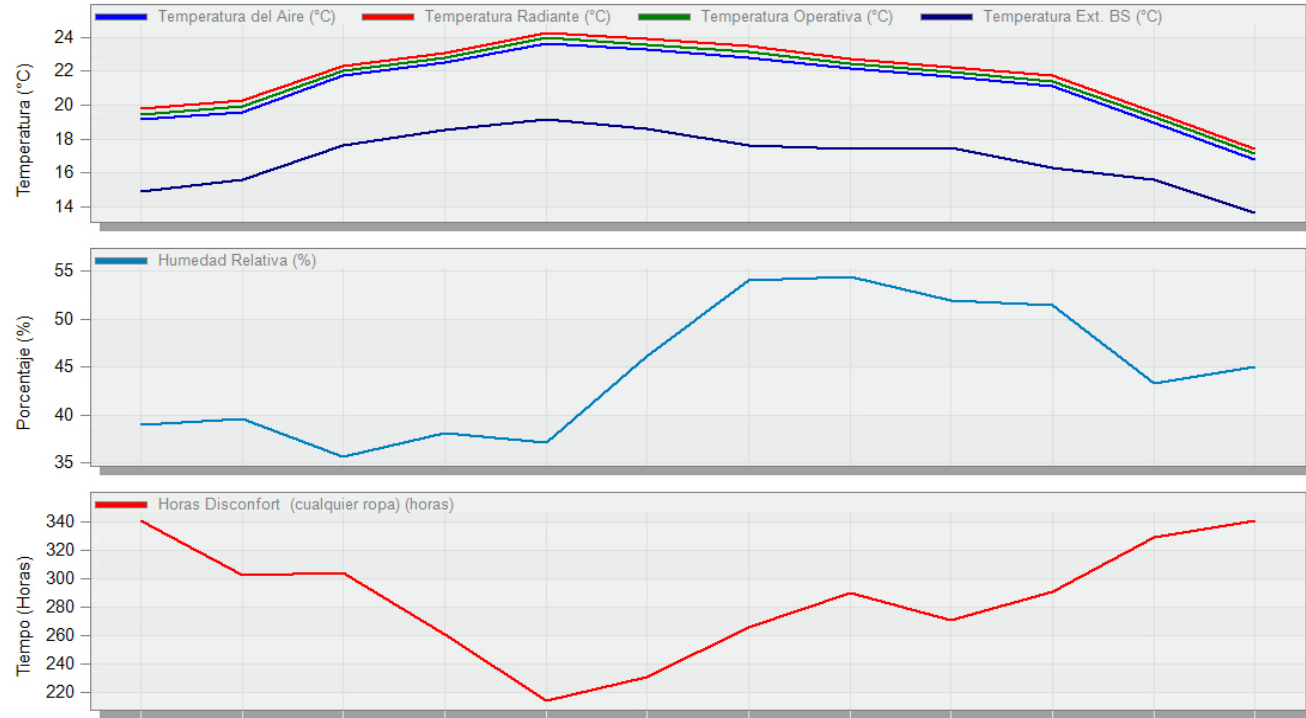
Tabla 38

Simulación anual del comportamiento de rangos de confort en caso A

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4
1 Ene - 31 Dic, Mensual

Evaluación



Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del Aire (°C)	19.13	19.61	21.72	22.53	23.68	23.30	22.83	22.14	21.68	21.10	18.97	16.81
Temperatura Radiante (°C)	19.80	20.28	22.35	23.11	24.27	23.90	23.48	22.76	22.27	21.77	19.57	17.44
Temperatura Operativa (°C)	19.47	19.94	22.04	22.82	23.97	23.60	23.16	22.45	21.97	21.43	19.27	17.13
Temperatura Ext. BS (°C)	14.86	15.58	17.60	18.56	19.13	18.57	17.64	17.39	17.46	16.28	15.57	13.63
Humedad Relativa (%)	38.98	39.53	35.64	38.08	37.14	46.14	54.09	54.41	51.93	51.46	43.34	45.04
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	341.00	303.00	304.50	261.50	214.50	231.50	266.00	290.50	271.50	291.00	329.50	341.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo de un año de simulación, cuya base de datos tiene el registro del año 2002 para la Ciudad de México como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Se puede observar que aunque los meses de enero y diciembre registran el mismo número de horas de disconfort, existe un menor promedio de T del aire, por lo que el mes más pertinente para centrar el análisis de comportamiento por horas, es diciembre. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

Tabla 39

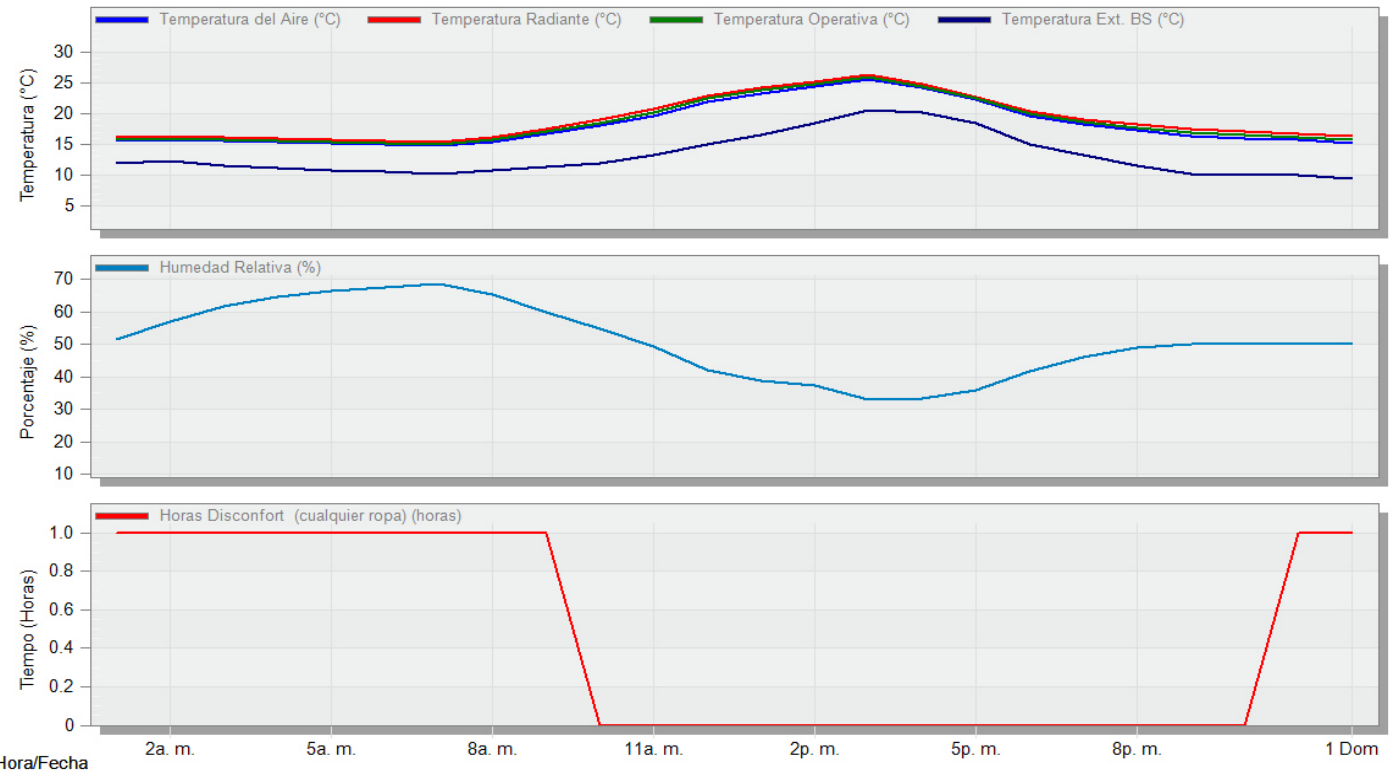
Simulación mensual (diciembre) del comportamiento de rangos de confort en caso A

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4

1 Dic - 31 Dic, Horario

Evaluación



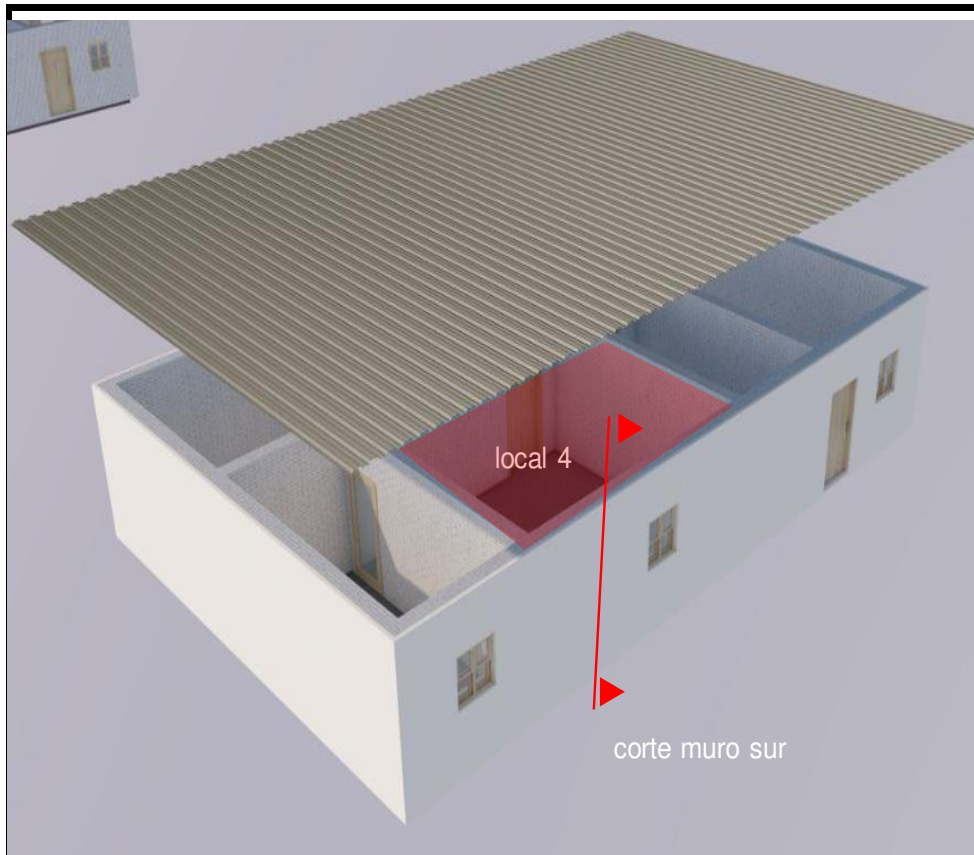
Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	10p. m.	1 Dom															
Temperatura del Aire (°C)	15.49	15.62	15.50	15.31	15.10	14.91	14.73	15.41	16.74	18.05	19.64	21.93	23.33	24.43	25.62	24.13	22.31	19.70	18.23	17.23	16.43	15.96	15.69	15.27
Temperatura Radiante (°C)	16.19	16.29	16.19	16.01	15.81	15.63	15.46	16.21	17.56	18.95	20.84	22.95	24.28	25.25	26.35	24.74	22.67	20.44	19.02	18.21	17.49	17.01	16.70	16.27
Temperatura Operativa (°C)	15.84	15.96	15.84	15.66	15.45	15.27	15.09	15.81	17.15	18.50	20.24	22.44	23.80	24.84	25.98	24.44	22.49	20.07	18.63	17.72	16.96	16.49	16.20	15.77
Temperatura Ext. BS (°C)	11.98	12.23	11.55	11.18	10.88	10.57	10.13	10.75	11.38	11.88	13.27	15.05	16.63	18.50	20.50	20.25	18.50	15.00	13.25	11.50	10.25	10.00	10.00	9.40
Humedad Relativa (%)	51.36	56.83	61.69	64.71	66.53	67.64	68.53	65.44	59.74	54.90	49.34	42.17	38.74	37.20	32.93	33.44	35.79	41.75	46.15	49.14	50.18	50.23	50.24	50.62
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del mes de diciembre, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Se observa un comportamiento similar al de los módulos físicos experimentales, donde las horas nocturnas muestran los niveles más bajos de temperatura. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

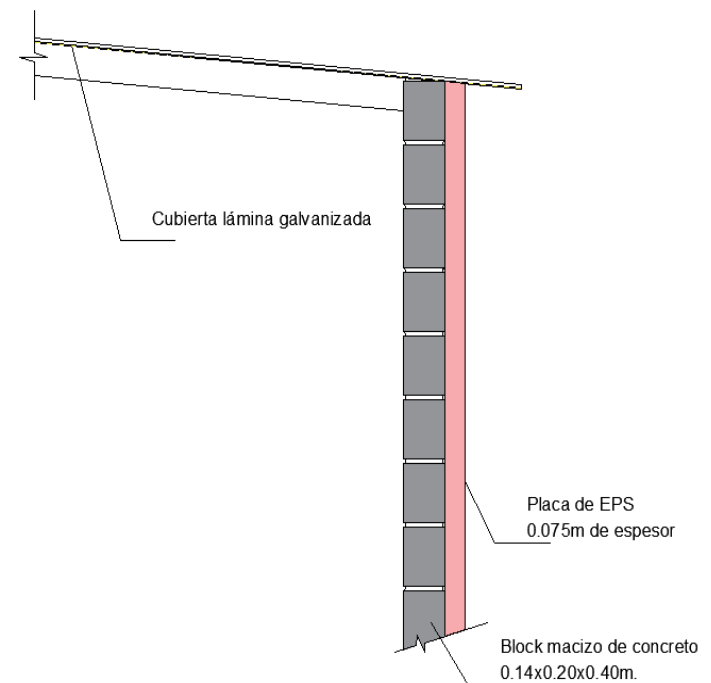
las normales climatológicas. En este sentido, se registra un promedio de 341 horas de sensación térmica negativa (discomfort), similar al mes de enero, pero con una T del aire de 16.81 °C promedio, la temperatura operativa que se llega a percibir en el local analizado se sitúa dentro de los 17.13 °C promedio, rango que se sitúa por debajo de una percepción térmica agradable.

Para el caso de la *tabla 39*, se ha seleccionado el mes de diciembre como periodo de análisis en función de comportamiento a lo largo de 24 horas promedio, en este ejercicio se puede observar el rango de discomfort total desde las 23:00 hasta las 09:00 horas, circunstancia que aunque diferentes parámetros de datos en T y HR, coincide con lo analizado en los módulos físicos. Así, se puede verificar en la tabla correspondiente T que existe una tendencia del block macizo a retener la energía calorífica ganada durante las horas diurnas, no obstante, esta no llega a ser suficiente para proporcionar rangos de bienestar térmico. En el caso analizado mediante la simulación, se observa que la HR no llega a ser tan elevada, así como las horas en que el interior del local permanece en discomfort. Al no contar con una base de datos climatológicos locales, los rangos representados en las simulaciones funcionan como datos de referencia en comparativa con otros medios pasivos de retardo térmico y deshumidificación del ambiente que se evalúan con la misma base de datos climática.

Bajo estas circunstancias se proceden a realizar las simulaciones pertinentes a los otros dos sistemas de cerramiento realizadas en los módulos, una vez que se han obtenido datos de su comportamiento en sitio, por lo tanto, bajo el mismo modelo virtual de vivienda analizado en el *caso A*, se realizan los ajustes pertinentes para la obtención de rangos anuales y mensuales del comportamiento de estos casos de análisis. Para el *caso B (figura 31) y (tablas 40-41)* se analiza la solución de block macizo con una placa de EPS añadida, tal fue el caso del módulo, pero está recubriendo todos los cerramientos de la vivienda, situación que se analiza de manera semejante en el *caso C (figura 32) y (tablas 42-43)*, pero donde se reemplaza la capa de poliestireno con un sistema de tierra aligerada con densidad de 356.27kg/m³. En estos dos modelos, se respetan los valores para puertas y ventanas del caso base, así como sus dimensiones originales, con la finalidad de que estas variables no repercutan en los valores simulados.



Vista axonométrica



Corte esquemático

Figura 31. Del lado izquierdo se observa una imagen axonométrica de la vivienda analizada, mientras que del lado derecho se representa una sección esquemática del sistema analizado, ambos casos se realizan sin escala para ejemplificar la simulación realizada en el denominado caso B, en donde el único muro con el sistema analizado corresponde a la fachada sur, en donde se realiza la sección esquemática.

Tabla 40

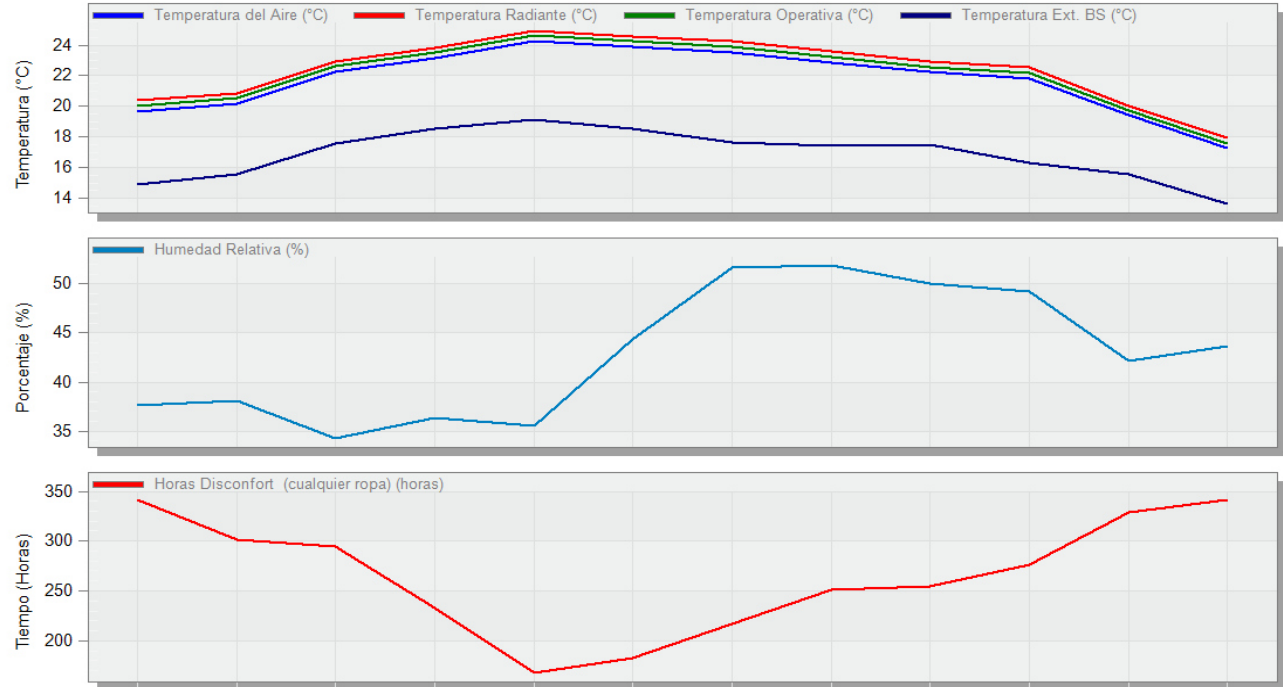
Simulación anual del comportamiento de rangos de confort en caso B

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4

1 Ene - 31 Dic, Mensual

Evaluación



Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del Aire (°C)	19.66	20.16	22.27	23.18	24.28	23.90	23.53	22.88	22.25	21.80	19.40	17.25
Temperatura Radiante (°C)	20.37	20.87	22.93	23.82	24.93	24.56	24.25	23.57	22.89	22.52	20.03	17.91
Temperatura Operativa (°C)	20.01	20.51	22.60	23.50	24.60	24.23	23.89	23.23	22.57	22.16	19.71	17.58
Temperatura Ext. BS (°C)	14.86	15.58	17.60	18.56	19.13	18.57	17.64	17.39	17.46	16.28	15.57	13.63
Humedad Relativa (%)	37.61	38.08	34.28	36.40	35.58	44.37	51.66	51.88	50.05	49.18	42.10	43.68
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	341.00	301.50	294.00	232.50	168.00	183.00	216.50	251.50	255.00	276.00	328.50	341.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del año, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Se observan rangos más favorables para el confort a lo largo del año, no obstante, los meses de noviembre y diciembre vuelven a mostrarse poco favorables. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

Tabla 41

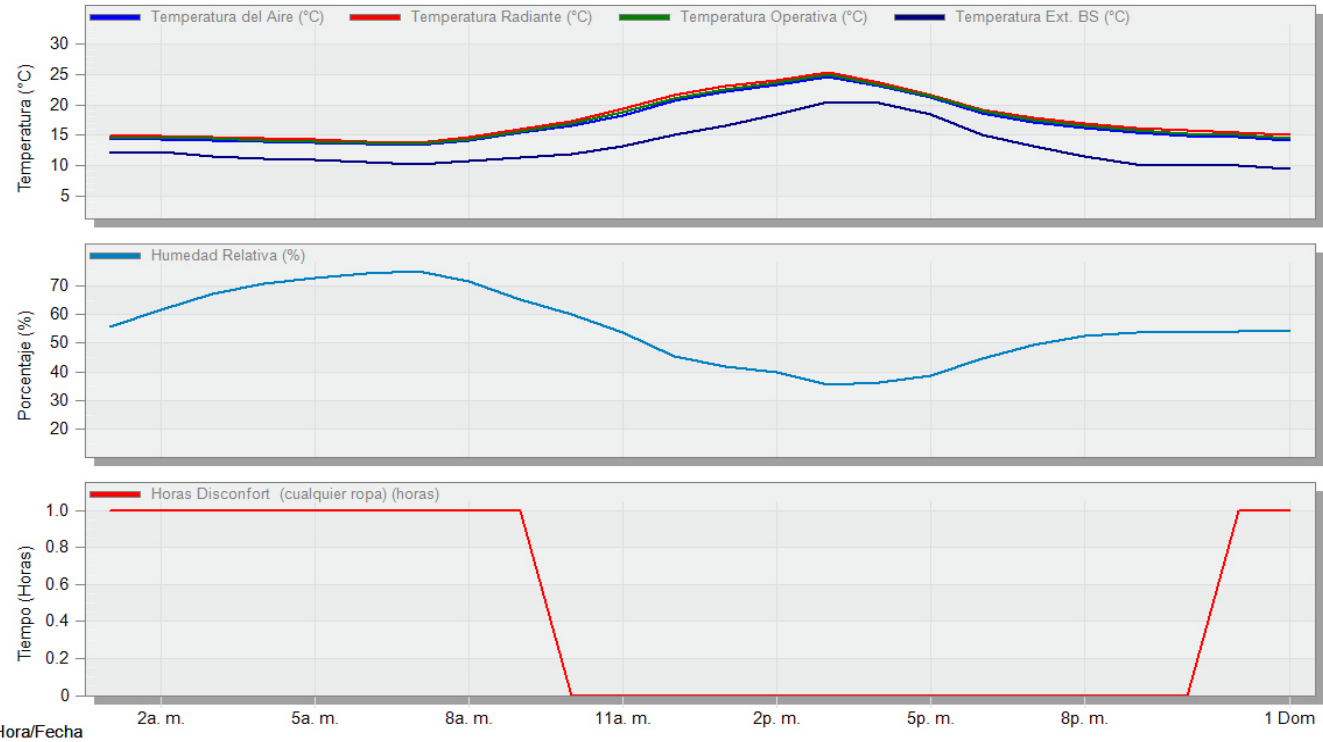
Simulación mensual (diciembre) del comportamiento de rangos de confort en caso B

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4

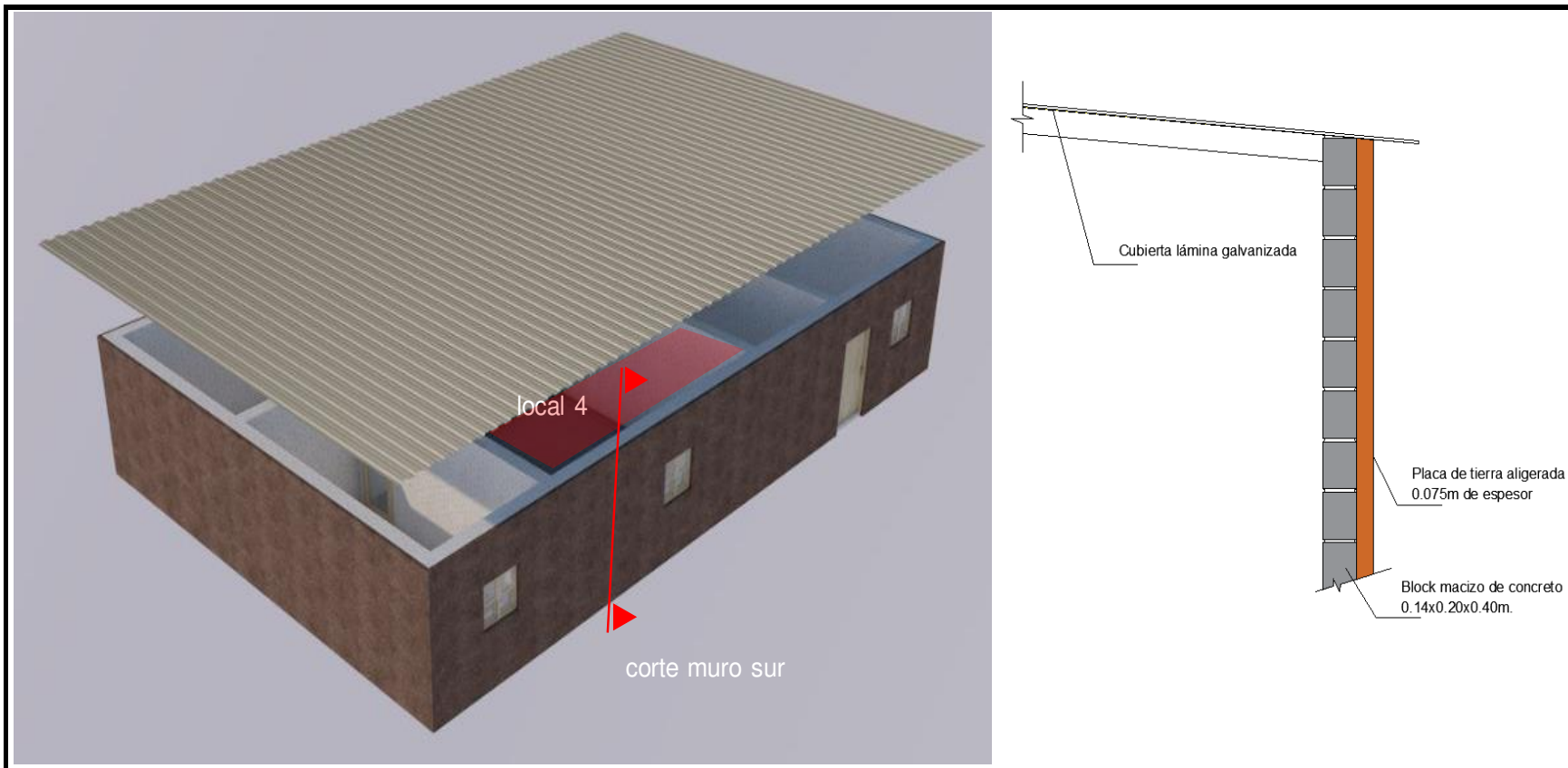
1 Dic - 31 Dic, Horario

Evaluación



Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	1 Dom																	
Temperatura del Aire (°C)	14.29	14.37	14.18	13.95	13.71	13.48	13.31	14.04	15.37	16.63	18.29	20.67	22.13	23.35	24.62	23.09	21.20	18.67	17.21	16.20	15.40	14.90	14.62	14.18	
Temperatura Radiante (°C)	14.82	14.85	14.69	14.47	14.23	14.01	13.84	14.60	15.92	17.36	19.31	21.57	23.00	24.06	25.24	23.65	21.54	19.26	17.82	17.00	16.27	15.75	15.42	14.97	
Temperatura Operativa (°C)	14.56	14.61	14.44	14.21	13.97	13.75	13.57	14.32	15.65	16.99	18.80	21.12	22.56	23.71	24.93	23.37	21.37	18.97	17.51	16.60	15.83	15.33	15.02	14.58	
Temperatura Ext. BS (°C)	11.98	12.23	11.55	11.18	10.88	10.57	10.13	10.75	11.38	11.88	13.27	15.05	16.63	18.50	20.50	20.25	18.50	15.00	13.25	11.50	10.25	10.00	10.00	9.40	
Humedad Relativa (%)	55.64	61.63	67.31	70.72	72.82	74.22	75.02	71.45	65.19	60.06	53.69	45.56	41.68	39.89	35.69	36.17	38.57	44.66	49.34	52.53	53.66	53.87	53.99	54.58	
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del mes de diciembre, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Una de los inconvenientes que se vuelve a presentar en la simulación es un índice mayor de HR (aunque aquí en las horas matutinas) respecto al caso A. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020



Vista axonométrica

Corte esquemático

Figura 32. Del lado izquierdo se observa una imagen axonométrica de la vivienda analizada, mientras que del lado derecho se representa una sección esquemática del sistema analizado, ambos casos se realizan sin escala para ejemplificar la simulación realizada en el denominado caso C, en donde el único muro con el sistema analizado corresponde a la fachada sur, en donde se realiza la sección esquemática.

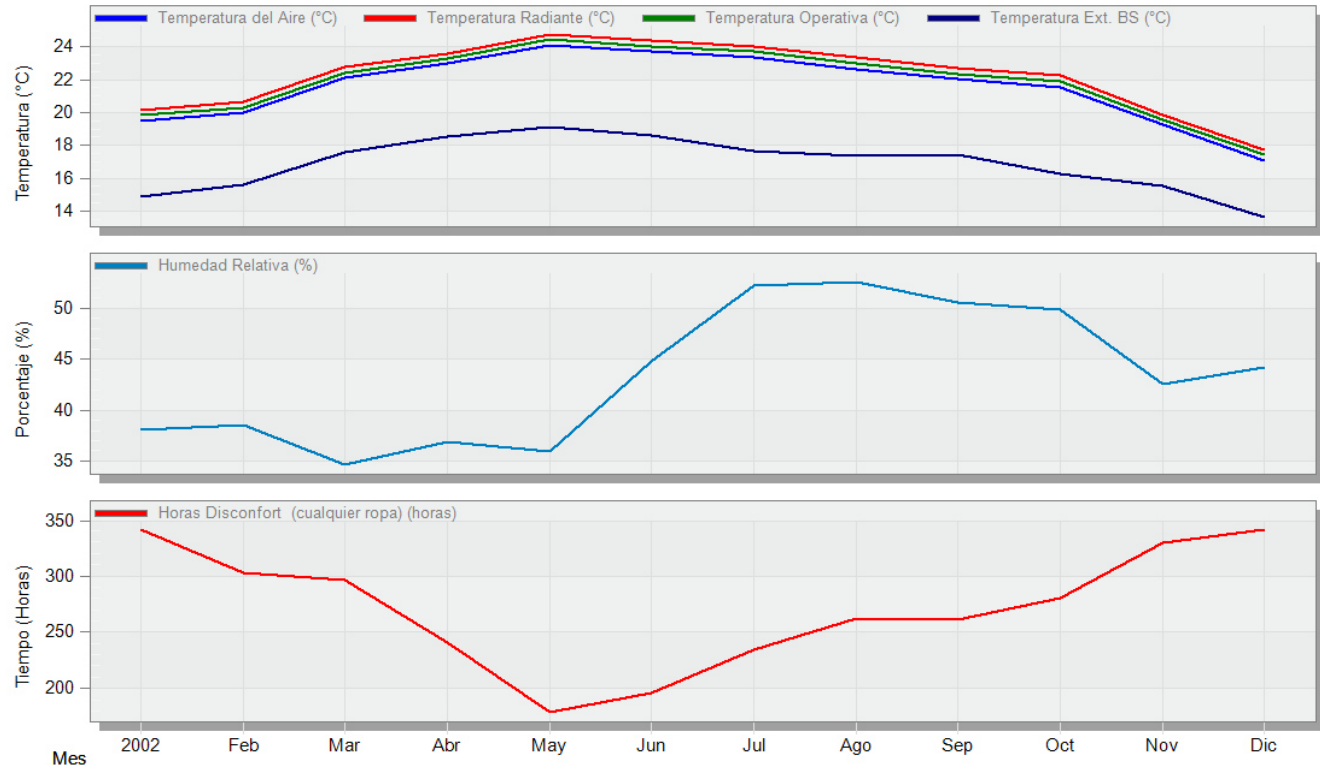
Tabla 42

Simulación anual del comportamiento de rangos de confort en caso C

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4
1 Ene - 31 Dic, Mensual

Evaluación



Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del Aire (°C)	19.47	19.96	22.09	22.98	24.11	23.72	23.34	22.66	22.05	21.57	19.24	17.08
Temperatura Radiante (°C)	20.17	20.67	22.74	23.61	24.74	24.37	24.06	23.34	22.69	22.28	19.86	17.73
Temperatura Operativa (°C)	19.82	20.32	22.41	23.30	24.43	24.04	23.70	23.00	22.37	21.92	19.55	17.40
Temperatura Ext. BS (°C)	14.86	15.58	17.60	18.56	19.13	18.57	17.64	17.39	17.46	16.28	15.57	13.63
Humedad Relativa (%)	38.06	38.52	34.65	36.86	35.94	44.84	52.23	52.58	50.62	49.87	42.51	44.15
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	341.00	302.50	296.00	240.50	179.00	196.00	234.50	262.50	261.50	280.00	329.00	341.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del año, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio En este ensayo se puede percibir una tendencia en cuanto a T. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

Tabla 43

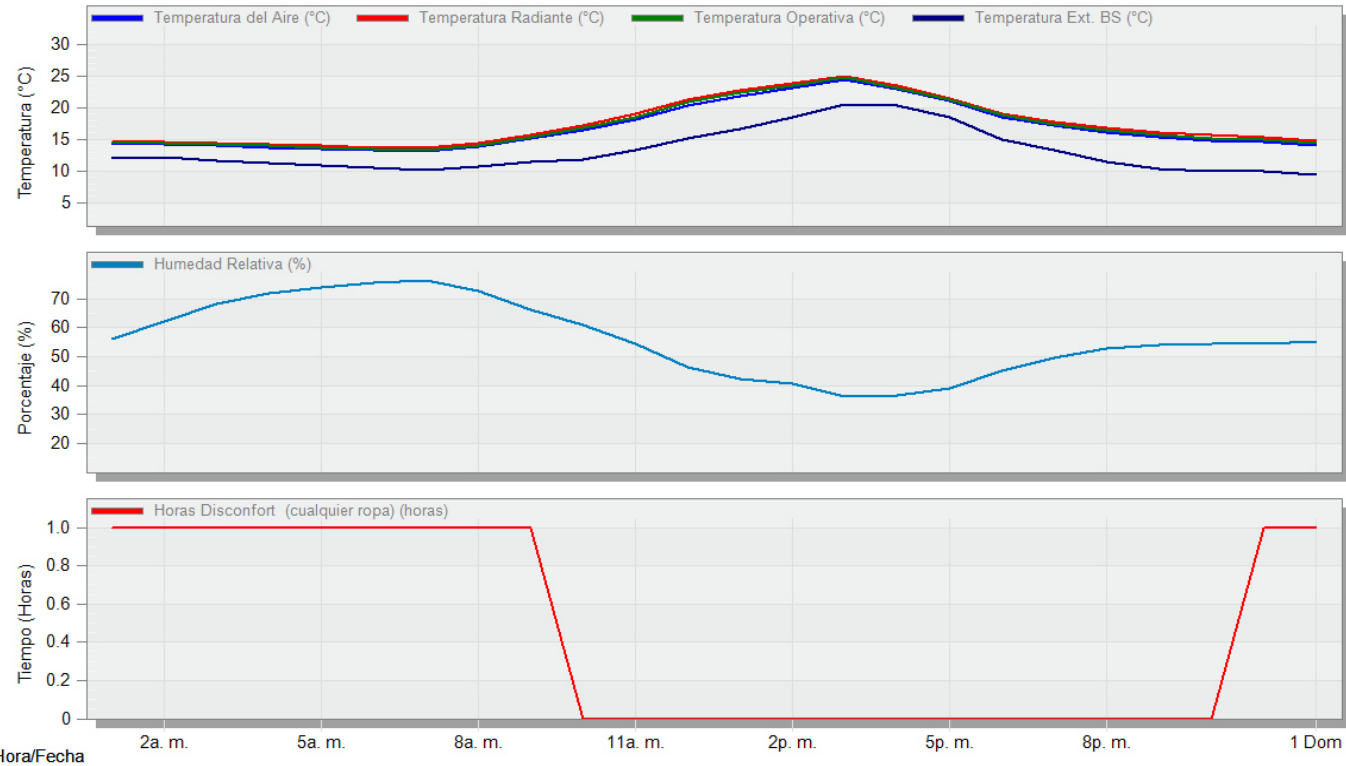
Simulación mensual (diciembre) del comportamiento de rangos de confort en caso C

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4

1 Dic - 31 Dic, Horario

Evaluación



Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	1 Dom																
Temperatura del Aire (°C)	14.14	14.20	13.99	13.74	13.48	13.24	13.06	13.80	15.13	16.38	18.02	20.37	21.84	23.08	24.37	22.86	21.01	18.55	17.08	16.09	15.28	14.78	14.50	14.05
Temperatura Radiante (°C)	14.64	14.65	14.47	14.23	13.98	13.74	13.57	14.33	15.64	17.08	19.03	21.28	22.72	23.79	25.00	23.43	21.35	19.10	17.67	16.87	16.14	15.62	15.28	14.82
Temperatura Operativa (°C)	14.39	14.42	14.23	13.99	13.73	13.49	13.32	14.06	15.39	16.73	18.53	20.83	22.28	23.44	24.68	23.15	21.18	18.82	17.38	16.48	15.71	15.20	14.89	14.43
Temperatura Ext. BS (°C)	11.98	12.23	11.55	11.18	10.88	10.57	10.13	10.75	11.38	11.88	13.27	15.05	16.63	18.50	20.50	20.25	18.50	15.00	13.25	11.50	10.25	10.00	10.00	9.40
Humedad Relativa (%)	56.21	62.33	68.18	71.71	73.90	75.39	76.22	72.57	66.20	61.02	54.62	46.41	42.41	40.54	36.23	36.67	39.04	45.01	49.74	52.93	54.06	54.29	54.43	55.06
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del mes de diciembre, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Se perciben parámetros en cuanto a T y HR poco favorables para el confort. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

Para el caso *B* se observa una tendencia anual de conservación de la energía calórica similar al caso *A*, en este sentido existe una reducción de horas de discomfort en casi todos los meses del año, con excepción de enero y diciembre, los cuales registran la misma cantidad de horas (341.00) en rangos térmicos no favorables. Bajo esta circunstancia, se puede interferir que existe un comportamiento favorable en comparativa del caso *A*, sin embargo, no llega a ser ampliamente favorable para considerar la adición de placas de EPS por exterior como una solución viable. Igualmente, se observa que en los primeros meses del año, es muy posible el incremento de HR al interior del local, en comparativa con las condiciones originales analizadas con únicamente block macizo de concreto.

Respecto al caso *C* que fue simulado de acuerdo a los parámetros de un sistema de tierra aligerada añadida a los muros de block, esta solución se muestra menos favorable que el caso de las placas de EPS, pero ligeramente con mejor respuesta que el caso base. Bajo estas circunstancias, en los dos casos *B* y *C*, no se muestra una mejora considerable en los parámetros de bienestar térmico interior del local que represente una solución viable para invertir tiempo, dinero y materiales que favorezcan de manera determinante la calidad de vida de los habitantes en una vivienda promedio de la localidad, siendo el dormitorio el local que se utiliza durante los horarios con mayores rangos de discomfort y donde no se observa una mejora con la adición de estas dos alternativas.

5.4. Rectificación y mejora del sistema mediante simulación

Al observar que las primeras soluciones no representan rangos significativos en la mejora del bienestar térmico del local, se procede a una propuesta que presente una mejor solución posible para las necesidades buscadas. Para ello, la realización de simulaciones virtuales a partir del modelo planteado resulta una manera eficaz y fiable de prever los resultados con anticipación previa a su montaje en campo, por ello, una indagación previa mediante el auxilio de estas herramientas informáticas puede permitir menores rangos de error en la espera del resultado final. En este sentido se realizan comparativos referenciales con periodo anual y mensual para poder hacer un comparativo con los casos ya expuestos en el punto anterior mediante la misma metodología. Para que no exista confusión con los anteriores análisis se procede a numerar los siguientes casos:

-caso D (*figura 33*): block macizo, capa de aire de 10.00 cm y sistema tierra aligerada de 7.50 cm (*tablas 44 y 45*).

-caso E (*figura 34*): block macizo, capa de aire de 10.00 cm, sistema tierra aligerada de 7.50 cm, capa de aire de 10.00 cm y sistema tierra aligerada de 7.50 cm (*tablas 46 y 47*).

-caso F (*figura 35*): block macizo, capa de aire de 10.00 cm, sistema tierra aligerada de 7.50 cm, capa de aire de 10.00 cm, sistema tierra aligerada de 7.50 cm y adición de paja a la cubierta (*tablas 48 y 49*).

Tras el comparativo de estos tres casos de simulación, se percibe que para el *caso D* el cual agrega una capa de aire de 10.00 cm de espesor, no existe un rango significativo de mejoría en las situaciones de bienestar térmico del local analizado, existiendo también un rango de 341 horas con disconfort a lo largo del año para el mes de diciembre. De igual manera, cuando se realiza el comparativo mensual existe un rango promedio de 11 horas de disconfort, justamente cuando existen los menores índices de T en relación con el aumento de HR. Asimismo, en la comparativa mensual, se llega a observar una tendencia similar al *caso A* en donde las únicas horas que representan un incremento del valor T, son las horas diurnas pasadas el medio días, que corresponden justamente con las horas de confort en el local.

Por otro lado en el *caso E*, correspondiente a las *tablas 46 y 47*, en donde se insertan dos capas de aire de 10.00 cm y dos placas de tierra aligerada con espesor de 7.50 cm se muestra una mejora significativa, primero, respecto al comportamiento anual, el mes de enero reduce de 341 a 21 horas el periodo de disconfort, así como el mes de diciembre que presentaba 341 en el caso base, ve reducido el número de horas de inestabilidad del local a 156, poco menos de la mitad del número de horas de la primera simulación. Se menciona que la implementación de este sistema arroja 26.50 horas de disconfort térmico en el mes de noviembre y 29.50 para el mes de febrero los cuales presentan temperaturas por debajo de la media.

No obstante existe un mejor comportamiento higrotérmico en interior del local que se ve reflejado en un mayor número de horas con satisfacción térmica para cualquier tipo de ropa en promedio para el mes de diciembre, se debe considerar que esto no sucedería de 6:00 a 8:00 horas de acuerdo a los datos de la simulación, rango que se relaciona con un ligero descenso térmico por debajo de los 20 °C respecto a la T_o , así como un incremento en la HR.

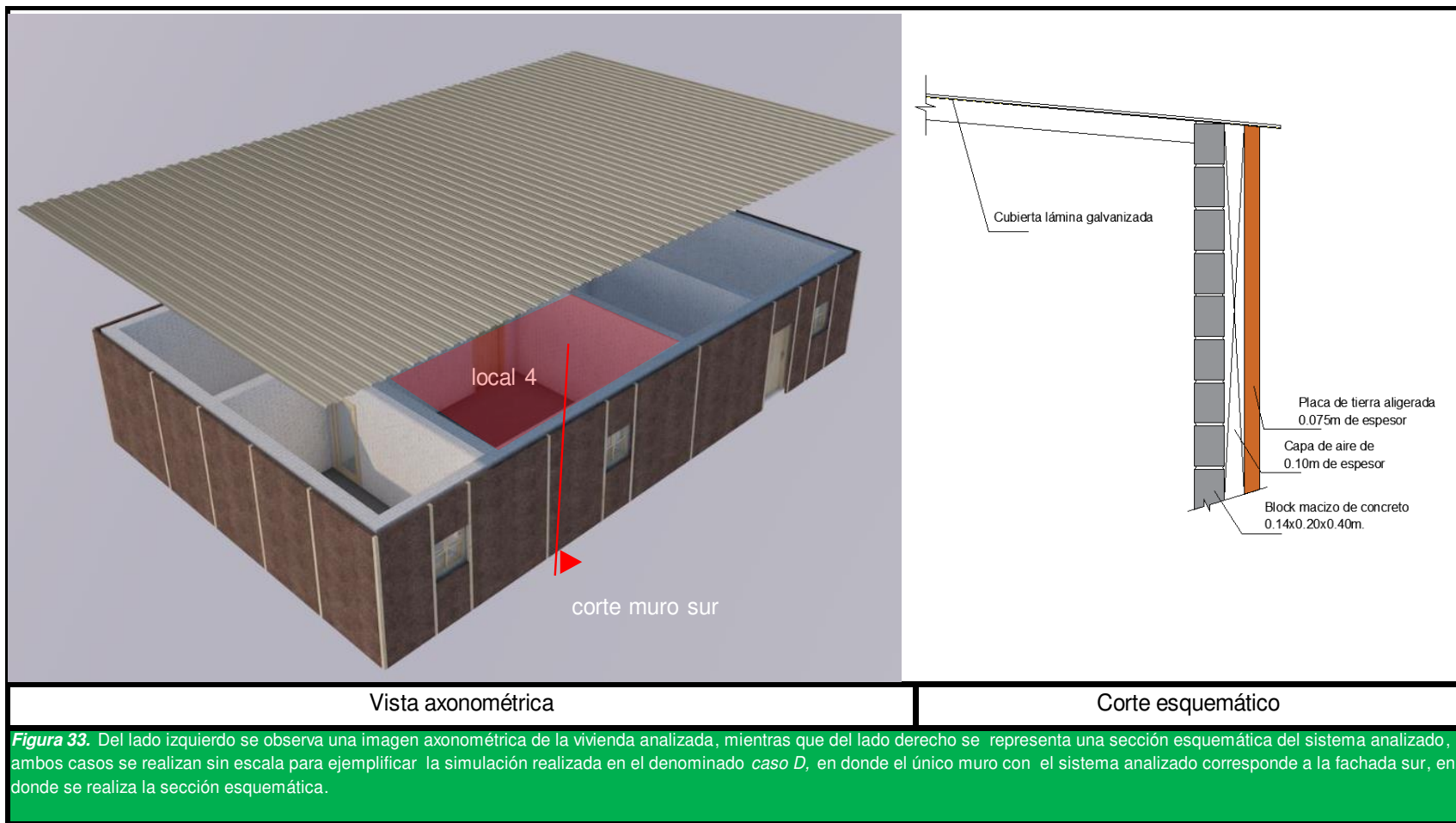


Tabla 44

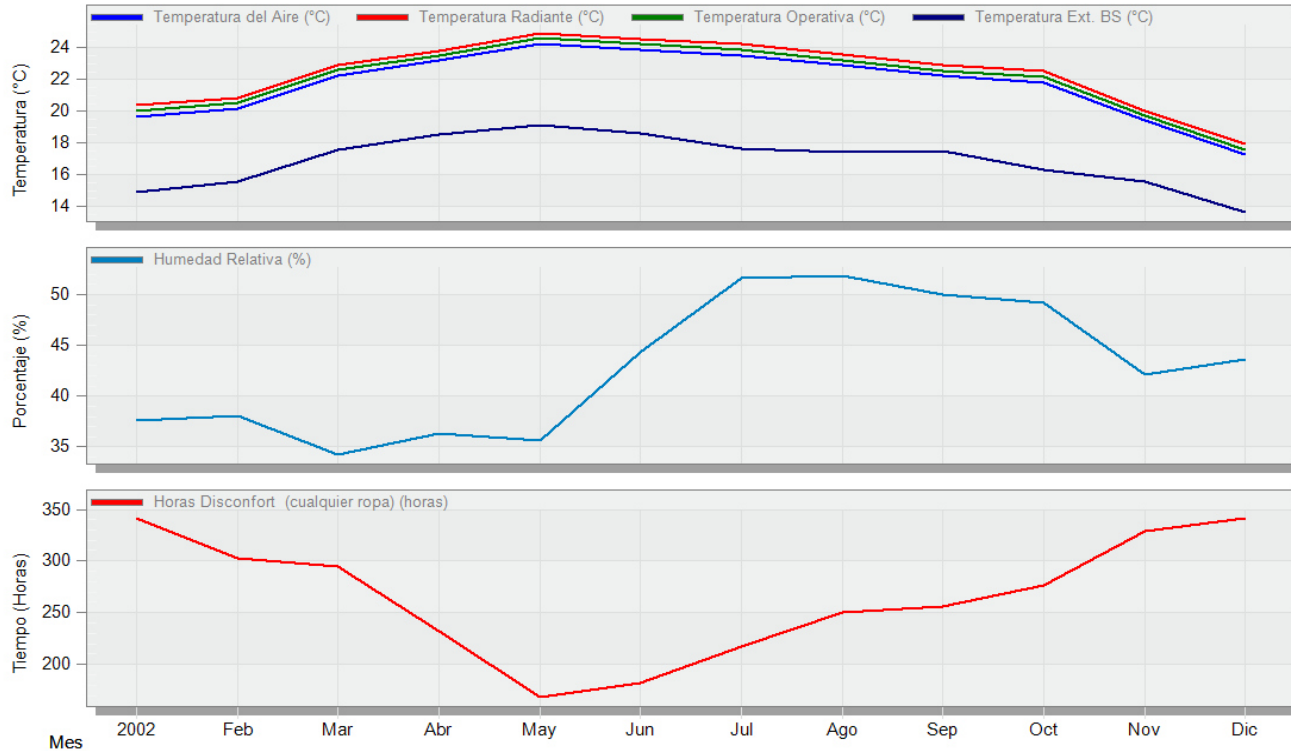
Simulación anual del comportamiento de rangos de confort en caso D

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4

1 Ene - 31 Dic, Mensual

Evaluación



Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del Aire (°C)	19.66	20.16	22.28	23.19	24.28	23.90	23.53	22.89	22.25	21.81	19.40	17.26
Temperatura Radiante (°C)	20.37	20.87	22.93	23.82	24.92	24.55	24.25	23.57	22.89	22.52	20.02	17.91
Temperatura Operativa (°C)	20.02	20.51	22.60	23.50	24.60	24.23	23.89	23.23	22.57	22.17	19.71	17.58
Temperatura Ext. BS (°C)	14.86	15.58	17.60	18.56	19.13	18.57	17.64	17.39	17.46	16.28	15.57	13.63
Humedad Relativa (%)	37.60	38.07	34.25	36.39	35.58	44.35	51.65	51.85	50.02	49.15	42.10	43.66
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	341.00	302.00	294.00	232.00	168.50	182.50	217.00	250.50	256.00	276.50	328.50	341.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del año, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio En este ensayo se puede percibir una tendencia en cuanto a T. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

Tabla 45

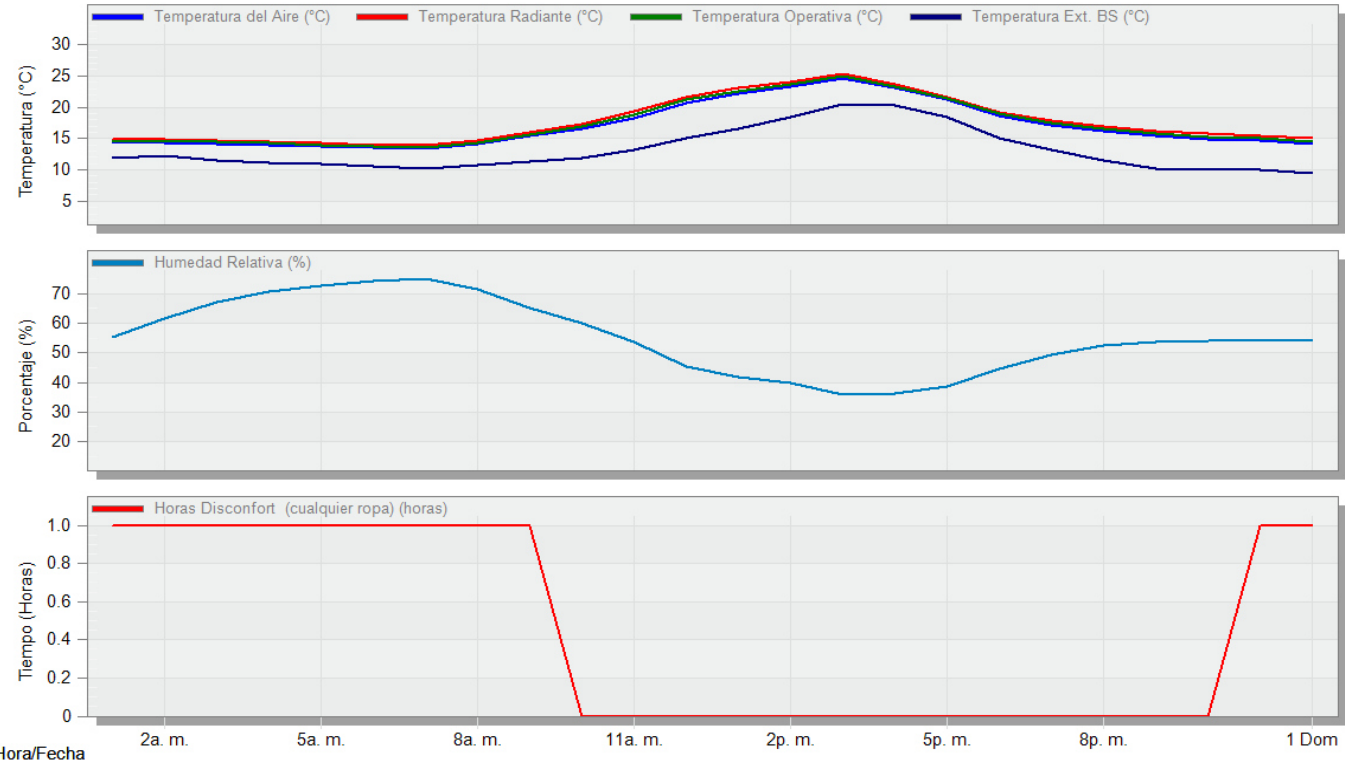
Simulación mensual (diciembre) del comportamiento de rangos de confort en caso D

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4

1 Dic - 31 Dic, Horario

Evaluación



Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	1 Dom																
Temperatura del Aire (°C)	14.30	14.38	14.19	13.96	13.72	13.50	13.32	14.05	15.38	16.64	18.31	20.71	22.15	23.37	24.63	23.09	21.20	18.66	17.20	16.20	15.39	14.90	14.62	14.18
Temperatura Radiante (°C)	14.82	14.85	14.70	14.48	14.24	14.02	13.86	14.61	15.93	17.36	19.32	21.58	23.01	24.06	25.25	23.65	21.54	19.26	17.81	16.99	16.26	15.74	15.42	14.97
Temperatura Operativa (°C)	14.56	14.62	14.44	14.22	13.98	13.76	13.59	14.33	15.65	17.00	18.82	21.14	22.58	23.72	24.94	23.37	21.37	18.96	17.51	16.60	15.83	15.32	15.02	14.58
Temperatura Ext. BS (°C)	11.98	12.23	11.55	11.18	10.88	10.57	10.13	10.75	11.38	11.88	13.27	15.05	16.63	18.50	20.50	20.25	18.50	15.00	13.25	11.50	10.25	10.00	10.00	9.40
Humedad Relativa (%)	55.38	61.53	67.25	70.67	72.76	74.15	74.94	71.39	65.13	60.02	53.61	45.45	41.62	39.84	35.67	36.18	38.58	44.69	49.36	52.55	53.68	53.88	53.99	54.57
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del mes de diciembre, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

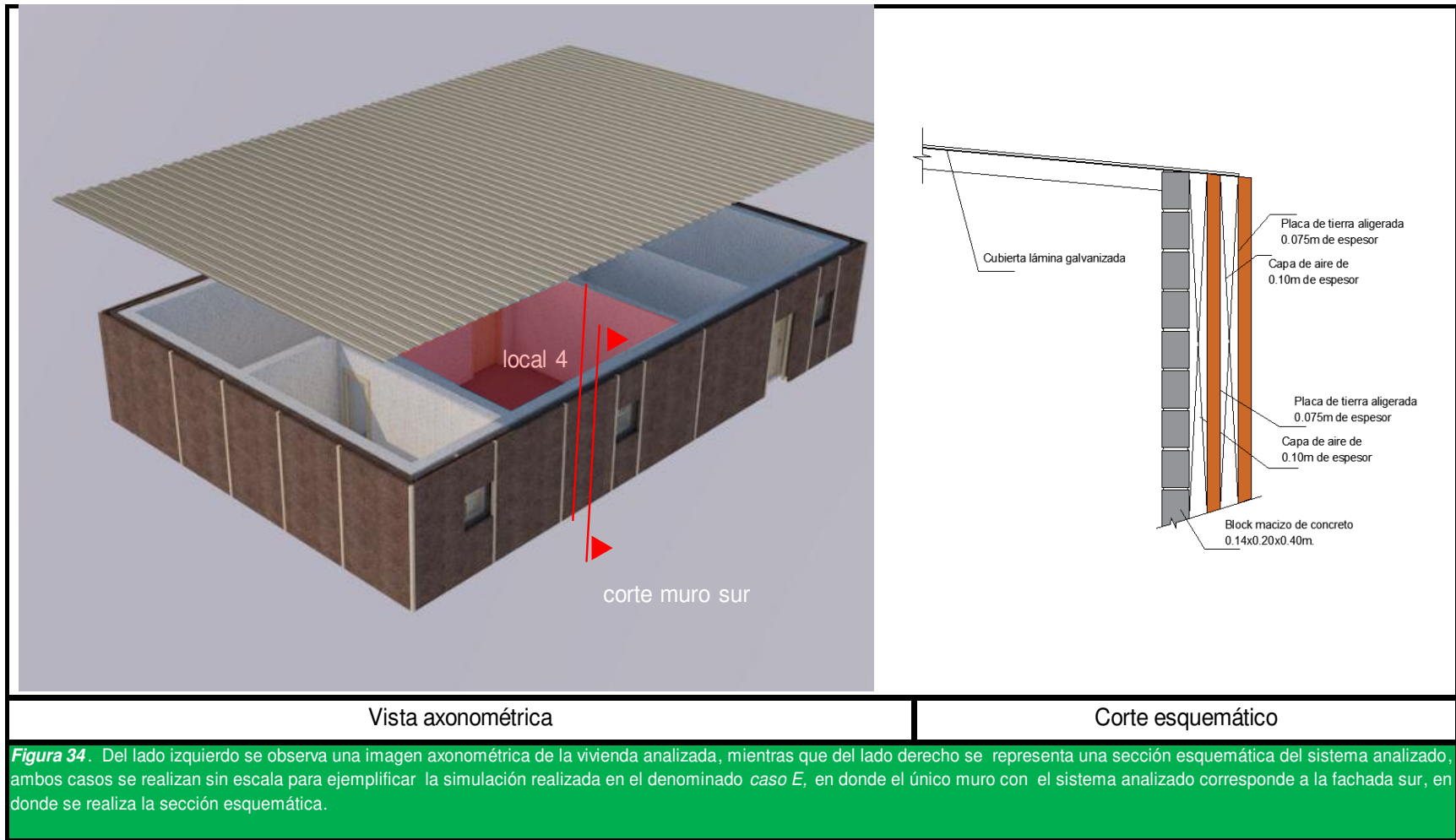


Tabla 46

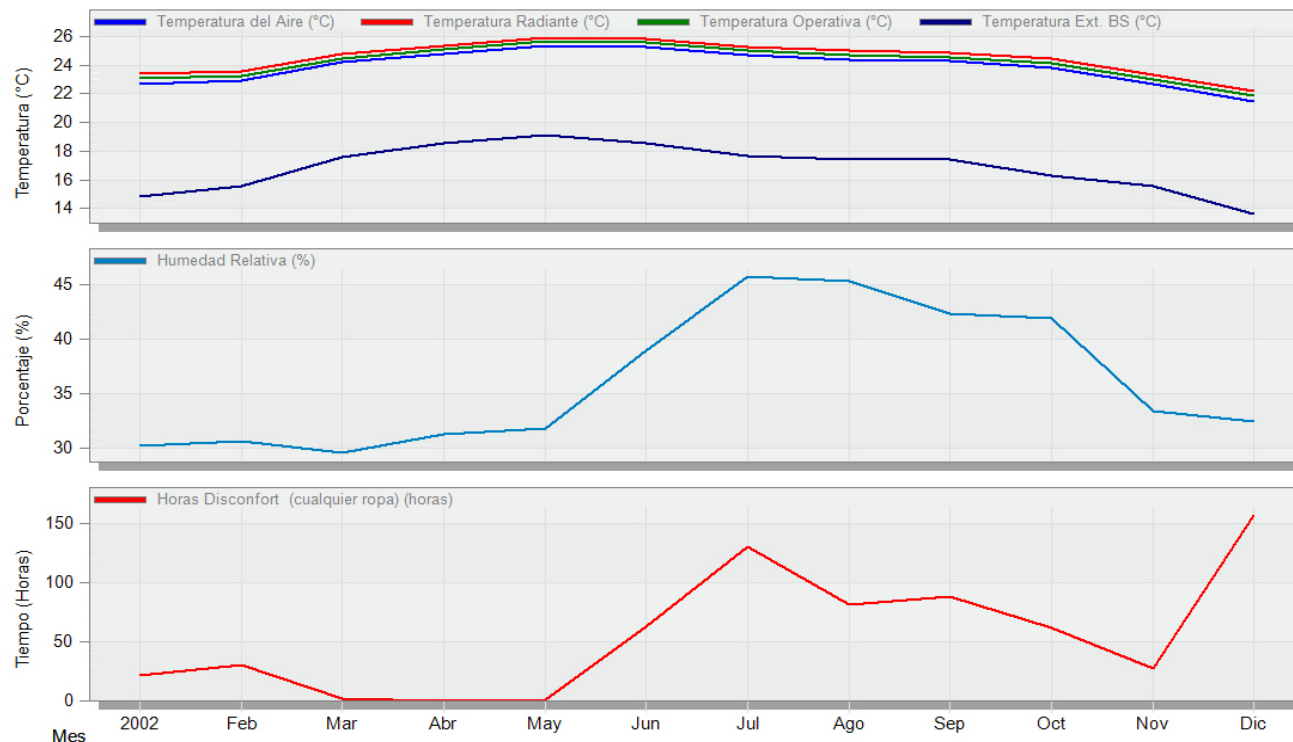
Simulación anual del comportamiento de rangos de confort en caso E

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4

1 Ene - 31 Dic, Mensual

Evaluación



Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del Aire (°C)	22.70	22.93	24.17	24.81	25.38	25.28	24.67	24.41	24.27	23.81	22.67	21.49
Temperatura Radiante (°C)	23.43	23.60	24.75	25.34	25.90	25.86	25.30	25.02	24.87	24.49	23.32	22.22
Temperatura Operativa (°C)	23.07	23.26	24.46	25.07	25.64	25.57	24.99	24.72	24.57	24.15	23.00	21.86
Temperatura Ext. BS (°C)	14.86	15.58	17.60	18.56	19.13	18.57	17.64	17.39	17.46	16.28	15.57	13.63
Humedad Relativa (%)	30.21	30.63	29.57	31.23	31.78	38.90	45.74	45.35	42.29	41.90	33.44	32.48
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	21.00	29.50	1.00	0.00	0.50	62.50	130.00	80.50	88.00	61.00	26.50	156.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del año, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

Tabla 47

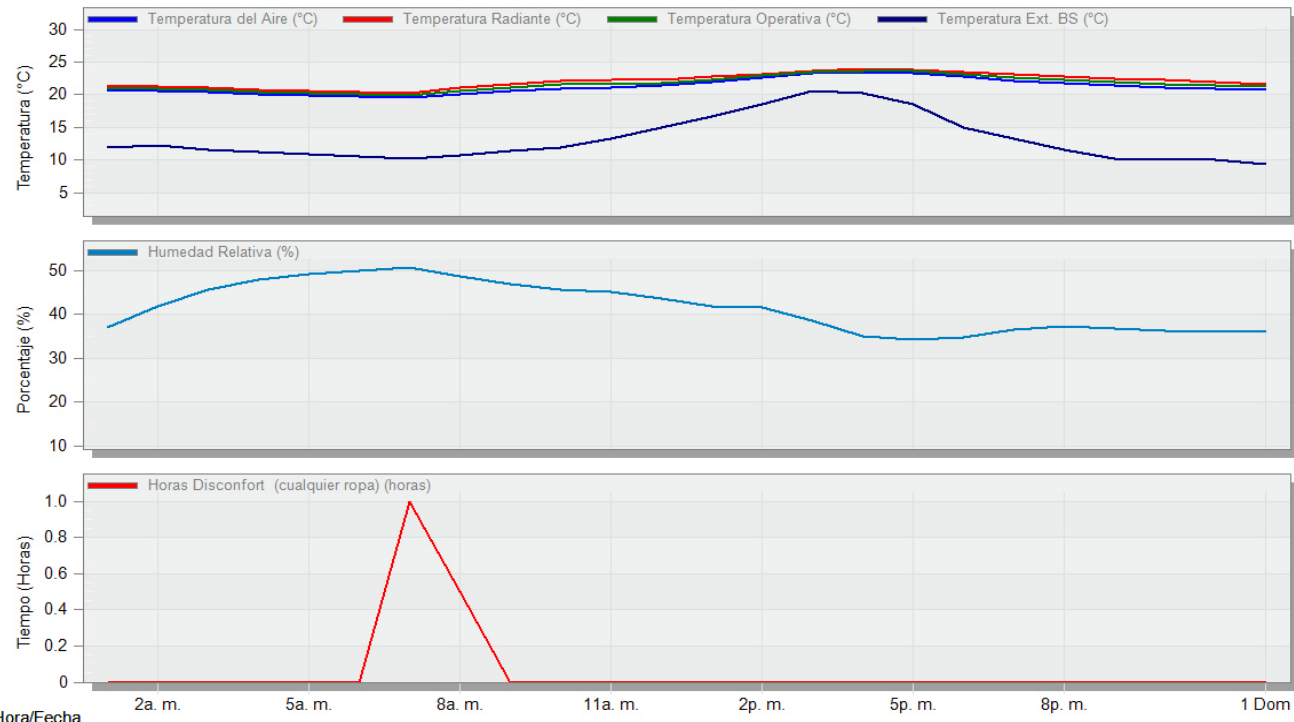
Simulación mensual (diciembre) del comportamiento de rangos de confort en caso E

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4

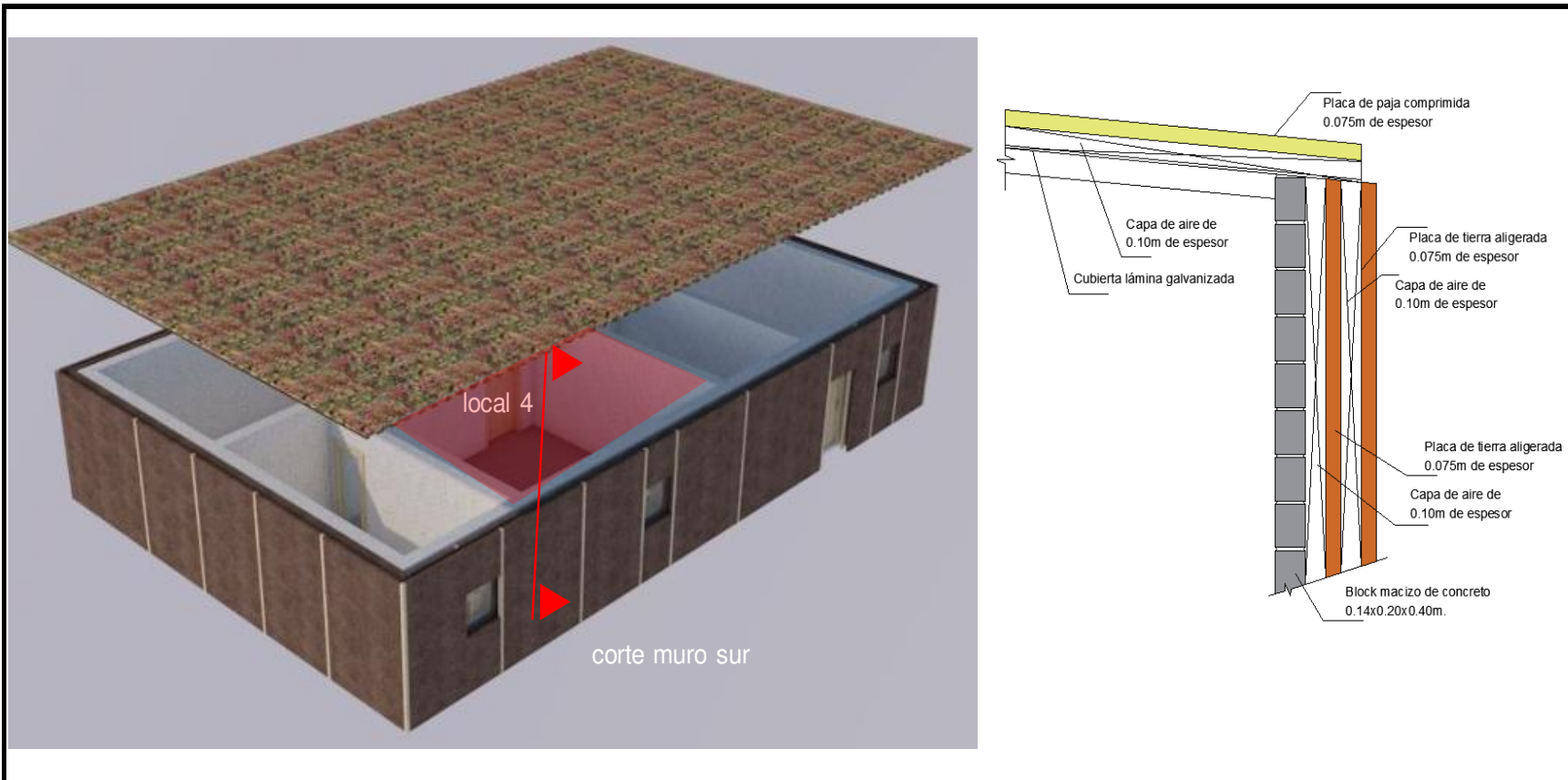
1 Dic - 31 Dic, Horario

Evaluación



Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	1 Dom																
Temperatura del Aire (°C)	20.73	20.60	20.35	20.14	19.92	19.74	19.54	20.12	20.63	20.99	21.06	21.38	21.98	22.65	23.27	23.51	23.35	22.72	22.11	21.74	21.40	21.14	20.96	20.69
Temperatura Radiante (°C)	21.39	21.22	21.02	20.82	20.61	20.45	20.28	21.02	21.67	22.11	22.28	22.30	22.72	23.19	23.61	23.92	23.88	23.54	23.06	22.76	22.51	22.22	21.97	21.68
Temperatura Operativa (°C)	21.06	20.91	20.69	20.48	20.27	20.10	19.91	20.57	21.15	21.55	21.67	21.84	22.35	22.92	23.44	23.72	23.62	23.13	22.59	22.25	21.96	21.68	21.46	21.19
Temperatura Ext. BS (°C)	11.98	12.23	11.55	11.18	10.88	10.57	10.13	10.75	11.38	11.88	13.27	15.05	16.63	18.50	20.50	20.25	18.50	15.00	13.25	11.50	10.25	10.00	10.00	9.40
Humedad Relativa (%)	37.09	41.81	45.69	47.93	49.21	49.97	50.60	48.70	46.87	45.73	45.16	43.58	41.85	41.49	38.54	35.10	34.30	34.72	36.44	37.28	36.86	36.33	36.13	36.05
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del mes de diciembre, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020



Vista axonométrica

Corte esquemático

Figura 35. Del lado izquierdo se observa una imagen axonométrica de la vivienda analizada, mientras que del lado derecho se representa una sección esquemática del sistema analizado, ambos casos se realizan sin escala para ejemplificar la simulación realizada en el denominado *caso F*, en donde el único muro con el sistema analizado corresponde a la fachada sur, en donde se realiza la sección esquemática.

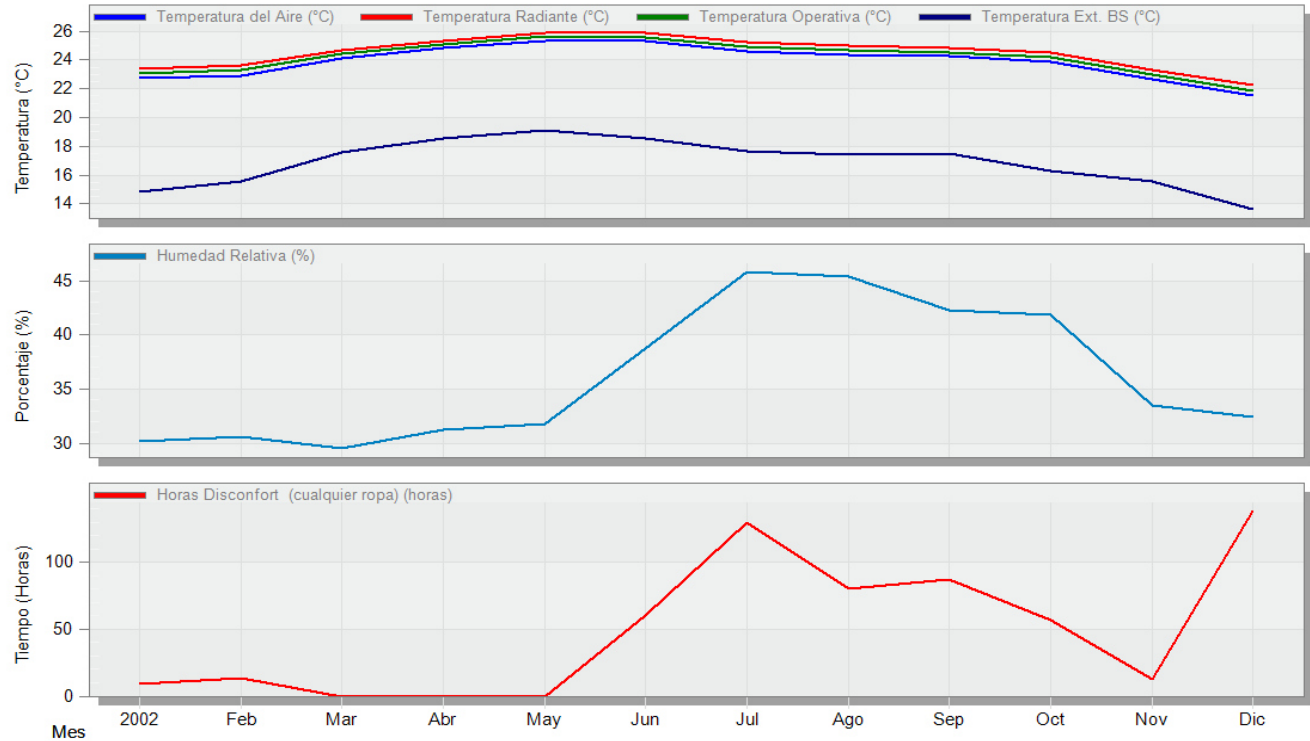
Tabla 48

Simulación anual del comportamiento de rangos de confort en caso F

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4
1 Ene - 31 Dic, Mensual

Evaluación



Mes	2002	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura del Aire (°C)	22.70	22.94	24.15	24.80	25.36	25.30	24.62	24.37	24.25	23.84	22.63	21.52
Temperatura Radiante (°C)	23.42	23.61	24.71	25.32	25.87	25.88	25.23	24.98	24.85	24.52	23.28	22.25
Temperatura Operativa (°C)	23.06	23.27	24.43	25.06	25.62	25.59	24.92	24.68	24.55	24.18	22.96	21.88
Temperatura Ext. BS (°C)	14.86	15.58	17.60	18.56	19.13	18.57	17.64	17.39	17.46	16.28	15.57	13.63
Humedad Relativa (%)	30.18	30.57	29.53	31.18	31.76	38.76	45.83	45.41	42.26	41.83	33.44	32.41
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	9.50	13.50	0.00	0.00	0.00	60.50	129.50	80.50	87.00	56.50	13.00	138.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del año, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

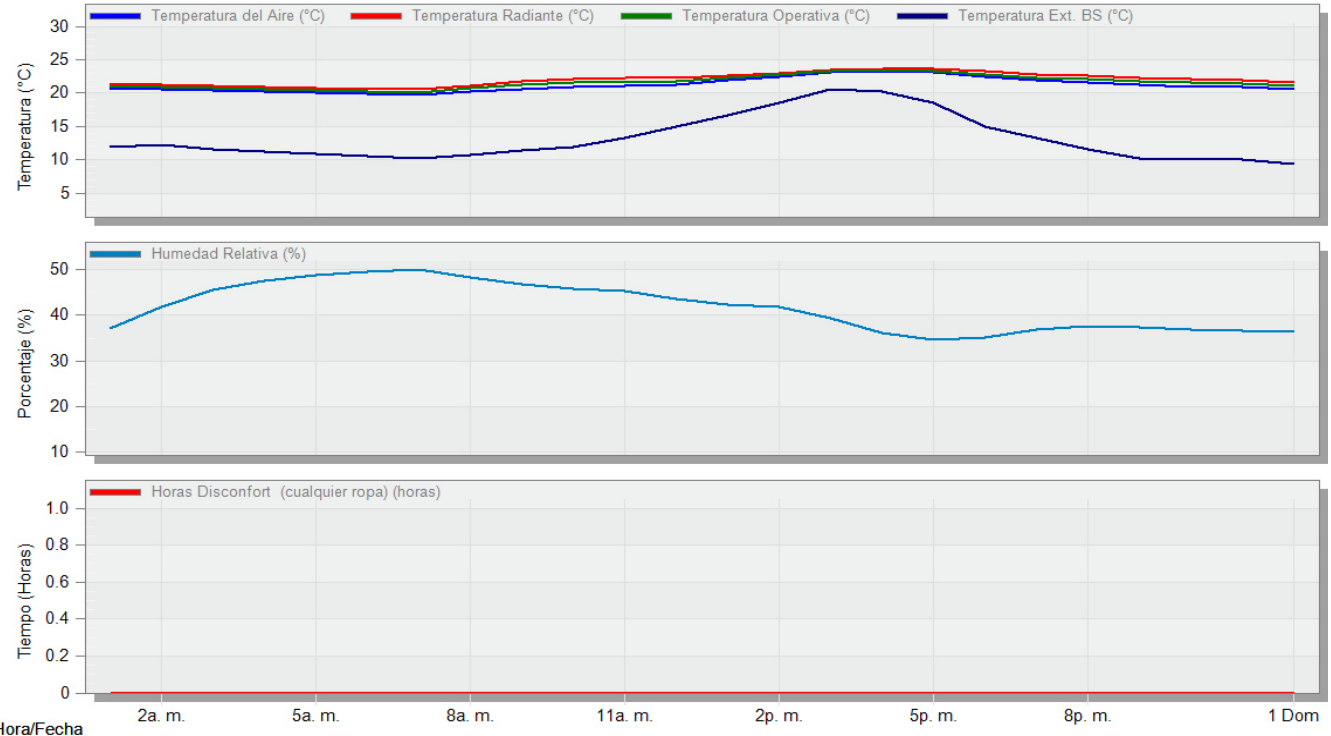
Tabla 49

Simulación mensual (diciembre) del comportamiento de rangos de confort en caso F

EnergyPlus

Confort - Bloque 1, Zona 4
1 Dic - 31 Dic, Horario

Evaluación



Hora/Fecha	2a. m.	5a. m.	8a. m.	11a. m.	2p. m.	5p. m.	8p. m.	1 Dom																
Temperatura del Aire (°C)	20.71	20.61	20.40	20.23	20.05	19.91	19.73	20.26	20.66	20.98	21.02	21.34	21.88	22.52	23.07	23.27	23.10	22.46	21.88	21.53	21.23	21.00	20.85	20.62
Temperatura Radiante (°C)	21.38	21.25	21.09	20.93	20.77	20.64	20.50	21.15	21.69	22.08	22.22	22.25	22.63	23.04	23.39	23.64	23.58	23.25	22.82	22.54	22.31	22.06	21.85	21.61
Temperatura Operativa (°C)	21.04	20.93	20.75	20.58	20.41	20.27	20.12	20.70	21.17	21.53	21.62	21.80	22.26	22.78	23.23	23.45	23.34	22.86	22.35	22.04	21.77	21.53	21.35	21.12
Temperatura Ext. BS (°C)	11.98	12.23	11.55	11.18	10.88	10.57	10.13	10.75	11.38	11.88	13.27	15.05	16.63	18.50	20.50	20.25	18.50	15.00	13.25	11.50	10.25	10.00	10.00	9.40
Humedad Relativa (%)	37.18	41.79	45.56	47.67	48.84	49.49	50.03	48.30	46.81	45.78	45.27	43.69	42.30	41.94	39.31	36.02	34.57	35.16	36.92	37.73	37.30	36.87	36.50	36.27
Horas Disconfort (cualquier ropa) (horas)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

En esta gráfica se muestra un comparativo de valores de T, HR y horas de disconfort a lo largo del mes de diciembre, la simulación tiene como base de datos el registro del año 2002 para la Ciudad de México, se recuerda la utilización de este registro como la localidad con base de datos más cercana y parecida a la zona de estudio. Fuente: Autor, mediante el uso del programa Design Builder, licencia de evaluación. Año: 2020

Bajo esta situación, se considera la variable de la cubierta como un elemento determinante en la insatisfacción térmica, dado que al ser constituida con un material metálico existe una gran pérdida de calor mediante esta vía. Por ello, la aplicación de una losa de concreto en las viviendas ya existentes puede ser una forma en que se mitigue el promedio de 3 horas de insatisfacción térmica, sin embargo el costo de la misma no es favorable económicamente, por lo que en este análisis se retoma un concepto elaborado por Méndez (2016), pero que en esta investigación se sustituye el barro-paja que puede generar un mayor peso a la cubierta, por una propuesta de capa de paja de 5.00 cm de espesor con un espacio de aire, ejemplo que se lleva al simulador de los otros casos para obtener los datos de las tablas 43 y 44.

En la tabla 43 se observa que tras la aplicación de una capa con paja de 7.50 cm sobre un espacio de aire de 10.00 cm, ellos sobrepuestos a la cubierta existente de lámina metálica, comienza un decremento en los días con malestar térmico para el mes de diciembre, pasando de 156 a 138 los días con inestabilidad térmica en relación al caso E. No obstante, al igual que el caso señalado, existe una alza en las horas de malestar térmico en el mes de julio, circunstancia que corresponde únicamente para los casos en donde existe el sistema con doble capa de tierra aligerada. Sin embargo, aunque el mes de julio presenta un valor mínimo de T con 8.8 °C, el registro es superior al del mes de diciembre con 4.7 °C.

Por otro lado, al evaluar el periodo mensual correspondiente a diciembre en un promedio horario, la tabla 44 no muestra un registro en la simulación de horas en disconfort térmico. Tras esta consideración, se debe considerar que la simulación correspondiente a un día promedio representa una tendencia del comportamiento a esperar del sistema, toda vez que el periodo anual representa 138 horas de disconfort (aproximadamente 5.75 días), cantidad que representa un número menor a 24 horas que para el caso E y el pico máximo que ocurre a las 7:00 am como el horario de sensación térmica negativa, no se refleja de manera similar en la última tabla.

Bajo estas circunstancias, se fundamenta que los datos que arrojan las simulaciones, aunque basadas en datos climáticos, no se pueden considerar como definitivos aun cuando ellos estén relacionados al punto geográfico de estudio, sin embargo, estas herramientas son referenciales como mecanismo de análisis previo a la implementación de determinados materiales o actividades que se destinen a los locales. Para el caso del sistema analizado en

tierra aligerada existe una disminución significativa de los valores de discomfort térmico en el local destinado a dormitorio para los casos de simulación, sistema que puede aumentar su eficacia una vez que en las viviendas con cubierta metálica se realice una intervención donde se utilice paja como capa de recubrimiento de acuerdo al sistema presentado. Aún con estas observaciones de acuerdo al análisis digital, es recomendable que existiera un análisis en sitio similar al implementado en módulos para verificar el comportamiento del sistema previo a la instalación en una vivienda, toda vez que una vez instalado en ella se deberá monitorear en un lapso de un año para con ello evaluar y comparar los resultados con la simulación realizada en el cierre de esta investigación.

Conclusiones de capítulo

Se observó que para la metodología de investigación y realización experimental para la obtención de resultados, es un planteamiento más acertado la utilización previa de herramientas digitales para la toma de decisiones y manejo de variantes en la definición de un sistema similar al que se buscó en esta investigación. Por otra parte, se observa que aunque el archivo de datos climáticos no correspondió a la localidad de análisis, existe un comportamiento similar en la respuesta de los rangos de T y HR interiores en los módulos a las realizadas mediante simulación. Del mismo modo, se señala que las otras herramientas utilizadas aquí mediante hoja de cálculo no poseen cálculos definitivos, ya que en el caso de la *tabla 35* se observaron valores que una vez realizada la simulación, no se refleja concordancia alguna, por lo que es preferible la simulación para tener un acercamiento a los resultados que se obtendrán en campo.

Conforme a los resultados analizados en campo a través de módulos de mampostería con block, se observó que la tierra aligerada muestra un comportamiento favorable hacia los parámetros de la sensación térmica confortable cuando se coloca como un sistema de recubrimiento en muros en comparativa al caso base, no obstante, los datos registrados denotan un sistema superado por recubrimientos con placas de EPS. La simulación digital denota esta tendencia a lo largo del año y que el mes con un lapso de horas con mayor discomfort térmico es el mes de diciembre para los tres casos, por lo que las evaluaciones posteriores mediante el software se repiten en estos dos periodos (anual y mes de diciembre).

Tras la simulación realizada en diversos casos probables de aplicación de la tierra aligerada, se observa que la mejor respuesta se obtiene con la adición de dos capas de tierra aligerada de 7.50 cm cada una, con una separación de 10.00 cm entre ellas y otra con el mismo valor entre el sistema y la mampostería original de block macizo. La respuesta de esta última solución, correspondiente al *caso E*, disminuye de manera considerable el pronóstico de inconformidad de usuario en cuanto a la habitabilidad, quedando como lapso altamente probable de inconformidad el horario de las 7:00 am, el cual, de acuerdo a la actividad predominante en la región, es poco probable se encuentre en uso. No obstante, dado el costo elevado de una losa maciza que puede contribuir a revertir el malestar térmico, se propone la implementación y uso de una cubierta de paja con espesor de 5.00 cm con un espacio de aire de 10.00 cm para convertir más estable y acondicionado el espacio interior.

Otro tema a tratar y que no se tocó en esta investigación, es la solución de tierra aligerada o en su caso barro liviano, como sistema principal de envolvente arquitectónica a implementarse en muros, y aunque como solución puede representar un panorama similar a la técnica conocida como *bajareque*, el análisis como sistema estructural lleva a otras variables en cuanto a espesores en muros, alturas, materiales para la sujeción e incluso acabados, que amplían el panorama de estudio más allá de los puntos tratados en esta tesis. En esta situación y a partir de los resultados obtenidos de la tierra aligerada como sistema auxiliar para mejora de la sensación térmica, se sugiere que el sistema aquí presentado, aunque requiere de perfeccionamiento en la práctica, es factible para su experimentación como solución independiente en la vivienda rural, ya que aprovecha recursos locales y de bajo impacto tras su utilización.

CONCLUSIONES

Los procesos económicos que acontecieron a partir del siglo XX y que en el XXI se observa la repercusión tardía de los mismos, han impactado en la composición y organización social de diversos grupos humanos, situación que ha trascendido en la forma de ordenación territorial, y por lo tanto, arquitectónica. Para el caso mexicano, se ha llevado a la estructuración de una nueva configuración en las poblaciones tradicionalmente consideradas como rurales, donde los nuevos mecanismos productivos vinculados al libre mercado o neoliberalismo, han incidido en este tipo de territorios, cuyas actividades históricamente han sido dedicadas al sector agropecuario, dando como resultado, transformaciones en los modos de vida que repercuten en las expresiones de la vivienda, cuya naturaleza ha sido históricamente ligada a la autoproducción.

Bajo el panorama de la construcción autónoma de la vivienda, se debe resaltar que los seres humanos han buscado su adaptación al territorio y al aprovecharlo como su medio de vida, situación que en búsqueda del aprovechamiento de los recursos los llevó hacia determinadas actividades económicas y expresiones del hábitat que difieren de los modos de vida urbanos. Así, el aprovechamiento de recursos locales llevó al desarrollo de tipologías constructivas específicas al igual que medios de organización comunitaria en los cuales, desde la familia o una comunidad se veían involucrados en la edificación del hábitat.

Al repercutir los fenómenos sociales ya señalados en los modos de vida, comienza un proceso de desvalorización de estos medios de fabricación del hábitat por muchas comunidades, donde paralelo a ello, existe un auge por la implementación de técnicas con productos de manufactura industrial. Dado que el contexto de las nuevas formas de edificación de vivienda rural en la región contemplan materiales que provienen principalmente de la mezcla de Cemento Portland Compuesto tipo II con otro tipo de agregados para mamposterías, así como losas de concreto armado o láminas metálicas para cubiertas, se les ha llamado en este texto como vivienda rural contemporánea.

La vivienda rural contemporánea no obstante es evaluada por instituciones gubernamentales como menos precaria en cuanto a los índices de pobreza, a partir de mediciones en campo de dos viviendas de manufactura reciente se muestra que su composición es endeble ante circunstancias de bienestar térmico. Aunque esta circunstancia no

se puede catalogar de emergencia sanitaria primaria, si es necesario reconocer su impacto de manera negativa en la calidad de vida de los usuarios, al mismo tiempo que la exposición a ambientes interiores poco favorables propicia alteraciones en el organismo humano que puede desembocar en circunstancias negativas tanto a nivel respiratorio como circulatorio, dos de las causas que ocasionan mayor número de decesos al año en nuestro país.

Una de las observaciones que se realizó en la presente investigación, es por consecuencia, que tales instituciones como el INEGI relacionan los índices de bienestar de la vivienda con materiales creados bajo procesos industriales, si bien ellos presentan mejores condiciones en cuanto a sus resistencias mecánicas, múltiples estudios demuestran la falla sísmica de materiales como la tierra cruda, son a causa de la integración de otros materiales no compatibles y la baja calidad de mano de obra y conocimiento de los elementos constitutivos, tal como se plantea la hipótesis de falla en la localidad analizada de los muros de mampostería de piedra por su unión con material predominantemente arenoso o los muros de tapial carentes de un acabado que permitieron su degradación. En tales circunstancias, más allá del conocimiento tradicional, se puede constatar que el conocimiento empírico producto de la autoproducción de vivienda, ha solucionado bajo aspectos favorables, pero también negativos, las soluciones del hábitat campesino, fenómeno que aún cuando hoy en día se produzca vivienda con materiales más resistentes, no deja de ser endeble a fallas en su planeación y ejecución.

Como consecuencia, uno de los aspectos en los cuales se pudo corroborar la vulnerabilidad de locales interiores edificados con nuevos materiales, es que tras la valoración de dos locales en viviendas de manufactura reciente sus condiciones en cuanto a Temperatura de bulbo seco y Humedad Relativa, son poco favorables para la sensación de bienestar climático del hábitat, lo que conlleva a los usuarios a incrementar el uso de ropa invernal en interiores y buscar otras acciones para contrarrestar los efectos negativos respecto a estos dos factores. Asimismo, se pudo constatar de manera breve, que dados los vanos reducidos en este tipo de viviendas que reducen la entrada de luz natural y la inestabilidad sensorial térmica, producto de factores ambientales, existe un incremento en el gasto energético en los meses considerados como de mayor descenso térmico, que de acuerdo al uso de los hogares, incrementa en los horarios nocturnos de ocupación. Del mismo modo, se menciona que tales estudios no pudieron realizarse físicamente debido al detrimento de las edificaciones

vernáculos de la zona, sin embargo, las referencias orales sugieren unas supuestas condiciones de sensación térmica más agradable respecto a los hogares contemporáneos.

En cuanto a las manifestaciones vernáculos que responden a los materiales presentes en la localidad, es importante señalar que la forma de adaptación térmica en la zona surge a partir del fundamento de masa térmica, por lo que la realización de mamposterías en rocas ígneas y muros en tierra apisonada con espesores superiores a los 80.00 cm, en ambos casos es una constante que se repite en diversas poblaciones con cercanía al Citlaltépetl. Asimismo, resalta la presencia de suelos con alta presencia de arenas en la región (clasificados como arenosoles según la Edafología) y relativa cercanía de bancos de piedra caliza que permiten la presencia de este componente en pequeñas proporciones, suelo que se puede reconocer como Caliché para la mecánica de suelos. No obstante, se realizó un muestreo de un banco de material cercano a Santa María Tecachalco, de donde se obtuvo una muestra predominantemente arenosa, misma que se analizó mediante ensayos en campo y cuya granulometría fue verificada en laboratorio.

Tras las pruebas experimentales, se define que las mejores técnicas en tierra cruda para manejar en esta localidad son las que se realizan a partir de la compactación del material en estado húmedo, entre ellas el tapial y el Bloque de Tierra Comprimida. No obstante, dado que la investigación no tiene un enfoque estructural y se enfoca en un elemento de cerramiento que pueda ayudar a incrementar el amortiguamiento térmico que las viviendas con mampostería de block no obtienen por sí mismas, se decide auxiliarse de la estabilización de la tierra con fines constructivos. Una vez que se retoma la técnica de barro liviano para su adaptación con tierra local y se decide nombrarla en la investigación por fines prácticos como tierra aligerada, se sugieren proporciones para su uso de acuerdo a ensayos realizados en campo, dado que pueden reproducirse en obra y sin herramienta especializada.

Dentro de las pruebas realizadas se analiza la adición de un polisacárido como lo es el mucílago de maguey, en primera circunstancia porque al igual que el nopal, es una planta con alta accesibilidad en la región, pero también, no se encuentra demasiada bibliografía referencial a su uso en la construcción con tierra cruda y dada la disponibilidad en nuestro país, su estudio puede implementarse en diversas investigaciones como alternativa al mucílago de nopal. En este sentido, se observó que dicho polisacárido muestra una menor respuesta de cohesión con las fibras vegetales que el óxido de calcio, por lo tanto se emplea este último en una proporción

de lechada, suelo, fibra de avena en 1:1:5 como la conveniente para la obtención de una densidad de 356.27 kg/cm³ para realizar una aplicación del mismo en bastidores sobrepuestos a módulos de block macizo de concreto con dimensiones de 0.80 x 0.60 x 1.00 m.

Tras su análisis en módulos se define que existe un mejor comportamiento en el cual fue montado el bastidor o panel con la tierra aligerada, no obstante, el comportamiento de acuerdo a datos promedio resulto ligeramente mejor que el módulo de block macizo original. Asimismo la tendencia gráfica muestra una relación deseable en los rangos de T interior para el módulo de block macizo con placas de EPS, lo que se correlaciona con una probable mejoría en las condiciones interiores de T y HR para el ser humano. Asimismo, tras las simulaciones energéticas, se menciona la importancia que materiales de extracción local pueden tener en la edificación de la arquitectura popular de nuestro país, no obstante el estudio arroja datos alentadores, se debe considerar que el sistema puede tener mejorías, y que puede tener una mayor efectividad si se analizan alternativas para que sea un elemento estructuralmente independiente de elementos como el block macizo y por consecuencia se refuerza su resistencia a cargas sísmicas y de viento, y en cuanto al comportamiento térmico, incluso bajo la inserción de otros sistemas modulares en cubiertas que han sido tocados por otros investigadores.

Sin embargo, el problema que se puede visualizar para esta u otras técnicas constructivas en tierra en esta región en particular, es el olvido y poca aceptación cultural que hoy en día se tiene hacia este tipo de construcciones, por lo que un primer acercamiento con comunidades similares, talleres de aplicación de recubrimientos o adecuación de locales con volumetrías limitadas con sistemas parecidos al aquí presentado, bajo financiamiento privado por encima del público, pueden funcionar como actividad de reconocimiento y revalorización tanto de las técnicas en tierra cruda como del patrimonio edificado aún en pie.

Para finalizar, otro campo de acción en que el perfeccionamiento de este sistema o similares a él, puede ser el campo de la conservación preventiva de bienes culturales muebles o inmuebles por destino, cuyo costo en los procesos de restauración influye en una continua degradación de los mismos. Mismos que una vez analizado algún caso particular, puede implementarse el control pasivo de HR y T que son variables en el deterioro mismo de algunas estructuras que por falta de presupuesto no pueden ser atendidas en su totalidad. Y bajo esta circunstancia, la importancia de herramientas informáticas, que en el caso de esta investigación

fueron dirigidas hacia el bienestar humano y como tal, un amplio porcentaje del software de análisis térmico se encuentra dirigido hacia él, sería una aportación importante la simulación térmica para los espacios contenedores de bienes patrimoniales. Quedando también pendiente, una profundización sobre las técnicas vernáculas regionales como expresiones para revalorizar dentro del entorno patrimonial, así como la evaluación de su comportamiento térmico a través de referencias anuales.

FUENTES

Acosta, F. (2014). *Entre procesos globales y usos locales: análisis de categorías recientes de la historia de la educación para el estudio de la escuela secundaria en la Argentina.* Espacio, Tiempo y Educación, 1(2), pp. 23-37.

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (2020). ToxFAQs™ - Estireno (Styrene). Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts53.html

Aguillón, J. (2012). *Habitabilidad básica de la vivienda rural, índice de confort térmico* . En El espacio habitable. Memoria e historia (Introducción). San Luis Potosí, México: **UASLP**.

American Society Of Heating, Refrigerating And A-C Engineers (2010). *ASHRAE STANDAR Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* . 2019, de American Society Of Heating, Refrigerating And A-C Engineers. Sitio web: <http://arco-hvac.ir/wp-content/uploads/2015/11/ASHRAE-55-2010.pdf>

Ander-Egg, E. (1993). *Introducción al Trabajo Social*, Editorial El Ateneo, México.

Argüello, T., Argüelles, B. y Badillo, R. (2012). Características físicas de la vivienda popular en la periferia urbana de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Quehacer Científico en Chiapas* 2012 1(14) (4-13).

Azqueta, P. (2014). *Manual práctico del aislamiento térmico en la edificación*. Buenos Aires: Asociación Argentina del Poliestireno expandido.

Ballester, Ferran. (2005). *Contaminación atmosférica, cambio climático y salud*. Revista Española de Salud Pública, 79, 159-175.

Batier, C. (2016). *Confort thermique et énergie dans l'habitat social en milieu méditerranéen. D'un modèle comportemental de l'occupant vers des stratégies architecturales*. Montpellier, France: Université de Montpellier. ENSA-Montpellier.

Benavides, H. y León G. (2007). *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático.* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, Colombia. IDEAM.

Burgui Burgui, Mario (2008). Medio ambiente y calidad de vida. Cuadernos de bioética, XIX, 293-317.

Bustillo, R. y García, E. (2016). *Tequio, expresión de solidaridad. Requisito para ejercer los derechos político-electorales en las comunidades indígenas.* Cuadernos de Divulgación de la Justicia Electoral. Ciudad de México.

Caballero, M., Lozano, S. y Ortega, B. (2007). *Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra.* Revista Digital Universitaria, Vol. 8, Num. 10. (2-12)

Disponible en: https://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf

Camacho, A. (2008). *Construcción en piedra seca.* Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.

Disponible:http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Publicaciones_Divulgacion_Y_Noticias/Documentos_Tecnicos/Construccion_Piedra_Seca/01-piedra_seca.pdf

Carmona, J. (2009). *Infección respiratoria aguda en relación con la contaminación atmosférica y otros factores ambientales.* Archivos de Medicina (Col), vol. 9, núm. 1, junio, 2009, pp. 69-79 Universidad de Manizales Caldas, Colombia.

Carrasco, C. y Morillón, D. (2005) Adecuación bioclimática de la vivienda de interés social del noroeste de México con base al análisis térmico de la arquitectura vernácula. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8, Nº 1, 2004. Impreso en la Argentina

Castejón, E. (1983). *NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación.* 2019, de Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España Sitio web: https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_074.pdf

Cedeño, A. (2010). Materiales bioclimáticos. *Revista de Arquitectura*, 12, 100-110.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2020). Informe de pobreza y evaluación 2020, Estado de Puebla. Disponible en: https://www.coneval.org.mx/coordinacion/entidades/Documents/Informes_de_pobreza_y_evaluacion_2020_Documentos/Informe_Puebla_2020.pdf

Comisión Nacional de Salarios Mínimos (2020). *Salarios mínimos*. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/525061/Tabla_de_salarios_m_nmos_vigentes_apartir_del_01_de_enero_de_2020.pdf

Comisión Nacional de Vivienda (2017). *Código de Edificación de Vivienda*. Tercera edición, Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano

Conde, C. (2011). *México y el cambio climático global*. México, D.F. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

En: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documents/Cecadesu/Libros/Mexico%20y%20el%20cambio%20climatico.pdf>

Crespo, J. (2011). *Los edificios pasivos. Guía del estándar Passivhaus*. Edificios de consumo energético casi nulo. Consejería de Economía y Hacienda, Madrid.

Delgado, C. (1999). *La nueva ruralidad en México*. Investigaciones Geográficas Boletín 39. (82-93).

De Volio, M. (1974). *El materialismo histórico*.

Disponible en: <http://www.ts.ucr.ac.cr/binarios/docente/pd-000010.pdf>

Díaz del Castillo, F. (2017). *Manual prácticas*. UNAM. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m7/Manual_%20Practicas_LABORATORIO%20DE%20TERMOFLUIDOS_2017-1.pdf

Duque, P., Quintero, L. y Duque, M. (2014). La educación ambiental en comunidades rurales y la popularización del derecho a la conservación del entorno natural: el caso de la comunidad de pescadores en la ciénaga de Ayapel (Colombia). *Revista Luna Azul*, Universidad de Caldas. No. 39, julio - diciembre 2014. Colombia.

Escobar, J. y Ponce, C. (2003) *La pobreza rural en América Latina:lecciones para una reorientación de las políticas*. CEPAL, Santiago de Chile

Espinosa, C. y Cortés, A. (2015). *Confort higro-térmico en vivienda social y la percepción del habitante*. *Revista INVI*, 30(85), 227-242.

Echeverri, R. y Pilar, M. (2002). Nueva ruralidad: visión del territorio en América Latina y el Caribe. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 207 p.

Fernández, F. (1994). *Clima y confortabilidad humana*. Aspectos metodológicos. Serie Geográfica, 4, 109-125.

Gajst, N. (2010). *La escuela francesa de la regulación: una revisión crítica*. "Visión de Futuro" Año 7, N°1, volumen N°13, Enero - Junio 2010. Disponible en: <https://e-tcs.org/wp-content/uploads/2012/04/N-Gajst-La-Escuela-Francesa-de-la-Regulacin.pdf>

Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo Sostenible: un enfoque sistémico*. Serie Medio Ambiente y Desarrollo, CEPAL, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos, Santiago de Chile.

García, E. (1998). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México, D.F.: Instituto de Geografía, UNAM.

García, L. y Quintero, M. (2009). *Desarrollo local y nueva ruralidad* Economía, núm. 28, julio-diciembre, p. 191-212 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela

Garnica, P., Pérez, A. Gómez, J. y Obil, E. (2002). Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres. Publicación Técnica No.201. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México.

Gatti, F. (2012). Arquitectura y construcción en tierra estudio comparativo de las técnicas contemporánea en tierra. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.

Gómez M., J. (2010) Vivienda efímera urbana: ¿arquitectura vernácula? DEARQ - Revista de Arquitectura / Journal of Architecture, núm. 7, diciembre-, 2010, pp. 136-143 Universidad de Los Andes Bogotá, Colombia

Gómez, H. (2005). *Los usos y costumbres en las comunidades indígenas de los altos de Chiapas como una estructura conservadora.* Estudios Políticos, vol. 8, núm. 5, mayo-agosto, 2005, pp. 121-144 Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México

Gómez, J. (2014). *Del desarrollo sostenible a la sustentabilidad ambiental.* Rev.fac.cienc.econ., Vol. XXII. Enero-Junio 2014 (115-136).

González, R. y Larralde, A. (2013). Conceptualización y medición de lo rural. Una propuesta para clasificar el espacio rural en México.

Guaraldo, A. y Schwarz, M. (1981). Acerca de los materiales de construcción la vivienda rural popular tradicional : elementos de ordenación metodológica. Facultad de Sociología, Universidad Veracruzana. Márgenes, septiembre-diciembre 1981, no. 1, p. 58-82

Güereca Hernández, L. P.; Carius Estrada, C.; Padilla Rivera, A. J.; Herrera Paz, H. D. (2016). Evaluación de la huella de carbono con enfoque de análisis de ciclo de vida para 12 sistemas constructivos. Ciudad de México, México: UNAM, Instituto de ingeniería.

Guerrero, L. (1998). *Componentes de Tipología Arquitectónica.* En Estudios de Tipología Arquitectónica. Universidad Autónoma Metropolitana, México, D.F.

Guerrero, L., Soria, F. (2016) Tierra vertida compactada, estabilizada con cal y puzolanas. En JOFFROY, Thierry, GUILLAUD, Hubert, SADOZAI, Chamsia (dir.) 2018, Terra Lyon 2016: Articles sélectionnés pour publication en ligne / articles selected for on-line publication / artículos seleccionados para publicación en línea. Villefontaine : CRAterre. ISBN 979-10- 96446-12-4.

Heintz, L. y Kennedy, K. (2009). *¿Qué sabemos sobre la relación entre la calidad de la vivienda y la salud?*. 24-06-2019, de Hábitat para la Humanidad Sitio web: http://www.habitat.org/lc/theforum/spanish/pdf/Foro_Salud.pdf

Hernández, A. (2007). *Bienestar térmico: criterios de diseño para ambientes térmicos confortables*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. Normas Técnicas de Prevención, 779. Centro Nacional de Condiciones de Trabajo, España.

Hernández, J. (2016). *Construcción con tierra: análisis, conservación y mejora. Un caso práctico en Senegal*. Universitat Politècnica de Catalunya. Departamento de Tecnología de la Arquitectura, Barcelona.

Hernández, M., Ordoñez, M. y Giménez, J. (2018). *Análisis comparativo de dos sistemas de clasificación bioclimática aplicados en México*. Investigaciones Geográficas, Núm. 95. Instituto de Geografía, UNAM. (1-14).

ICOMOS (1999), Carta del Patrimonio vernáculo construido, México, Disponible en: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/vernacular_sp.pdf

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C (2009). Agregados para concreto hidráulico. Especificaciones y métodos de prueba. El concreto en la obra. Número 27. México.

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2008). *Características edafológicas, fisiográficas, climáticas e hidrográficas de México*. México, Distrito Federal. Instituto Nacional de Geografía y Estadística. Disponible en sitio web: https://www.inegi.org.mx/inegi/spc/doc/INTERNET/1GEOGRAFIADEMEXICO/MANUAL_CARA_C_EDA_FIS_VS_ENERO_29_2008.pdf

Instituto Nacional de Geografía y Estadística (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Chalchicomula de Sesma, Puebla Clave geoestadística 21045. México.

Instituto Nacional de Normalización (2007). Norma Chilena 853.Of2007. Acondicionamiento térmico- Envoltente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.. 21-

06-2019, de Subsecretaría de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile Sitio web:
<http://normastecnicas.minvu.cl/>

Juárez Badillo, E. y Rico Rodríguez, A. (2008). *Mecánica de Suelos. Tomos 1 y 2.* Ed. Limusa (México).

Lárraga , R., Aguilar, M., Reyes, H. y Fortanelli, J. (2014). *La sostenibilidad de la vivienda tradicional: una revisión del estado de la cuestión en el mundo.* Revista de Arquitectura, vol. 16, enero-diciembre, 2014, pp. 126-133 Universidad Católica de Colombia Bogotá, Colombia

Latasa, G.(2002). *La sorprendente llegada del frente frío.* Disponible en:
<https://www.divulgameteo.es/uploads/FF-Latasa.pdf>

Longar, M., Granados, R. e Ibarrola, M. (2017). *Clima, temporada invernal e impactos en la agricultura.* Congreso ALTEC 2017. Disponible en:
http://www.uam.mx/altec2017/pdfs/ALTEC_2017_paper_59.pdf

López, A. (1983). *Mejora geotécnica del suelo. Informes de la construcción.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España. Disponible en:
<https://core.ac.uk/download/pdf/237016549.pdf>

López de Asiaín, J. (2010). *La habitabilidad de la Arquitectura. El caso de la vivienda.* Dearq 06. Bogotá, Colombia. (100-107). Disponible en: <https://dearq.uniandes.edu.co>

Luque, R.(2013). *Paisajes rotos: algunas consideraciones sobre el hábitat rural mariánico a partir de la imagen fotográfica.*

Disponible en: <https://journals.openedition.org/mediterranee/6735>

Moevus-Dorvaux, M. , Couvreur, L., Fontaine, L. , Anger, R. y Doat, P. (2016). *Béton d'Argile Environnemental 2010-2013. Résultats d'un programme de recherche tourné vers l'application.* Amàco et CRAterre-AE&CC-ENSAG. France.

Matías, L., Fuentes, O. y García, F. (2014). *Heladas*. Serie Fascículos. 14/06(2019), de Centro Nacional para la Prevención de Desastres Sitio web: <https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/122FASCCULOHELADAS.PDF>

Mayorga, JR. (2005). *Modelo holístico para analizar el confort térmico del ser humano dentro de los edificios*. Tesis de doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México.

Minke, G. (2005) Manual de construcción en tierra. Editorial Fin de Siglo, Uruguay.

Monárdez, H. (2007) Inercia térmica en viviendas. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Montañez, G. y Delgado, O. (1998). *Espacio, territorio y región: conceptos básicos para un proyecto regional*. Cuadernos de Geografía, VII, 120-134.

Moreno, R., Blanquer, J. e Ibáñez, S. (2010). *El color del suelo*. Universidad Politécnica de Valencia.

Disponible : <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8008/Color%20del%20suelo.pdf>

Oficina Internacional de Pesas y Medidas (2006). *El Sistema Internacional de Unidades*. Organización Integoburnamental de la Convención Metro. Centro Español de Meteorología.

Organización Internacional de Meteorología Legal (2011). Guía OIML G – 14: Medición de densidad. Edición 2011

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018). *México rural del Siglo XXI*. Ciudad de México. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i9548es/I9548ES.pdf>

Ortiz, M. y Vidal, R. (2006). *Población expuesta a inviernos fríos en México*. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 59, 2006, pp. 93-112

Paniagua, A. y Hoggart, K. (2002). Lo rural, ¿hechos, discursos o representaciones? una perspectiva geográfica de un debate clásico. ICE, Globalización y mundo rural.

Peña Rodríguez, G., Peña Quintero, J.Y. y Gómez Tovar, M.A. (2014). *Determinación Experimental de la Conductividad Térmica Efectiva en Bloques Extinguidos de Arcilla Roja.* Revista Ciencia en Desarrollo, 5, 15-20.

Prieto, V. y Carrillo, S. (1978). *Vivienda campesina en México.* México : Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2008). *Base referencial mundial del recurso suelo.* Roma

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (2010). *Estudio de zonas impactadas por tiraderos clandestinos de residuos de la construcción en el Distrito Federal.* Delegación Cuauhtémoc, México, D.F.

Ramírez, A. (2002). *La construcción sostenible.* Física y Sociedad, Núm. 13. (30-33).

Ramirez, P. y Alejano, L. (2004). *Mecánica de rocas. Fundamentos e Ingeniería de taludes.* Disponible en: http://oa.upm.es/14183/1/MECANICA_DE_ROCAS_1.pdf

Real Academia Española (2019). Diccionario de la lengua española. 03/2019, de Real Academia Española Sitio web: <http://www.rae.es/>

Reckford, J. (2009). Como crear entornos de vida saludables, en El Foro, promocionando el diálogo entre los socios de Hábitat para la Humanidad de todo el mundo. Hábitat para la Humanidad. Parte 16, Núm. 2.

Disponible en: https://www.habitat.org/lc/theforum/spanish/pdf/Foro_Salud.pdf

Rodríguez, G. (2012). *Humedad por Condensación en Viviendas Prevención y Soluciones.* Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción. Santiago de Chile.

Rodríguez, R. M., Benito, A., y Portela, A. (2004). *Meteorología y climatología. En Meteorología y climatología.* Semana de la Ciencia y la Tecnología, 2004.(3-88). España: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Rodríguez Jiménez, Rosa María; Benito Capa, Águeda; Portela Lozano, Adelaida. (2004). Meteorología y climatología. En Meteorología y climatología. Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004.(3-88). España: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

Romero, C., Vaca, M. y Bernal, D. (1999). *Creencias sobre infecciones respiratoria en niños menores de cinco años: Estudio etnográfico en dos comunidades indígenas del estado de Oaxaca.* Revista INER, Volumen 12, numero 4, p 250-261.

Rougeron, C. (1977) *Aislamiento acústico y térmico en la construcción.* Editores Técnicos Asociados., Barcelona

Ron, J. (1977). *Sobre el concepto de cultura.* Cuadernos populares, IDAP. Quito, Ecuador.

Saint-Gobain. (2012). Introduction à la thermique du bâtiment. 2019, de Saint-Gobain Sitio web: https://www.construireavecsaint-gobain.fr/wp-content/uploads/2012/10/4_ESS_HAB_INTRODUCTION_THERMIQUE.pdf

Sánchez, J. (2014). *La política agrícola en México, impactos y retos.* Revista Mexicana de Agronegocios, vol. 35, julio-diciembre, 2014, pp. 946-956 Sociedad Mexicana de Administración Agropecuaria A.C. Torreón, México

Sánchez, N. y Garduño, R. (2008). *Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática.* ContactoS, 68, 5-10.

Secretaría de Energía (2018). Balance Nacional de Energía. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética.

Secretaría de Medio Ambiente (2020). Disponible en: http://www.sma.gob.mx/SRN/SIIAEC/POETE/CUADROS/Cuadro_6_Descripcion_de_los_Tipos_de_Climas.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Puebla 2013.* México.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2013). *Calidad del aire: una práctica de vida.* Cuadernos de divulgación ambiental. SEMARNAT, México, D.F.

Secretaría de Desarrollo Social (2011). *Atlas de riesgos del municipio de Chalchicomula de Sesma, Puebla.*

Disponible:

http://rmgir.proyectomesoamerica.org/PDFMunicipales/2011/vr_21045_AR_Chalchicomula_Sesma.pdf

Secretaría de Salud (2014). *Prevención y Control de las Enfermedades Respiratorias e Influenza.* Programa Sectorial de Salud 2013-2018

Snyder, R. y de Melo-Abreu J. (2010). *Protección contra heladas: fundamentos, práctica y economía.* Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Tallah, B. (2014). *Etude du comportement physico-mecanique du bloc de terre comprimée avec fibres.* Thèse de Doctorat en Sciences. Universite Mohamed Khider – Biskra. Faculte des Sciences et de la Technologie. Departement de Genie Civil et d'Hydraulique.

Tejeda-Martínez, A., Méndez, I., Catalina, N., y Tejeda-Zacarías, E. (2018). *La humedad en la atmósfera. Bases físicas, instrumentos y aplicaciones.* Colima, México: Universidad de Colima. Disponible en: http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf

Tornero, J., Pérez, A. y Gómez, F. (2006). *Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes.* Cuadernos de Geografía, Num. 80 (147-182). Valencia.

Vallardes, R., Chávez, M. y López de Asiaín, M. (2015). *Indicadores urbanos de habitabilidad: ¿qué medir y por qué? (15-38), en Diversas visiones de la habitabilidad Vallardes, R. coord.* Editorial de la Red Nacional de Investigación Urbana, Puebla, México.

Velázquez, M. (2015). Materiales aislantes sostenibles. Universidad de Extremadura.

Disponible en:

http://dehesa.unex.es/bitstream/10662/4159/1/TFGUEX_2015_Velazquez_Rodriguez.pdf

Villamil, H. y Piamba, O. (2005). *Estudio y aplicación de ciclos de refrigeración -Refrigerantes alternativos.* Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, núm. 3, 2005, pp. 28-33
Universidad del Valle Cali, Colombia

Vitruvio, P.M. (1995). *Los diez libros de Arquitectura.* Madrid, Alianza Forma.

Vissac, A. , Bourgès, A., Gandreau, D., Anger, R. y Fontaine, (2017). *L. argiles & biopolymères - les stabilisants naturels pour la construction en terre.*

Von Bertalanffy, L. (1976). *Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones.* Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

Yarza de la Torre, E. (2003). *Los volcanes del Sistema Volcánico Transversal.* Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM Núm. 50, 2003, pp. 220-234

Zarta, P. (2018). La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. Tabula Rasa. Bogotá - Colombia, No.28: 409-423, enero-junio 2018.

<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>

http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/cursos/Ccias_tierra_tarbuck-Ch4-Rslg.pdf

Normas:

<https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-03-03.pdf>

<https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-07-07.pdf>

<https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-02-03.pdf>