

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano
Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables



Sistema de Bloque de Tierra Compactado frente a la normatividad mexicana

TRABAJO RECEPTACIONAL que para obtener el **GRADO** de
MAESTRA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES

Presenta: **AILED PAOLA ALBARRAN FRANCO**

Tutor **FRANCISCO ÁLVAREZ PARTIDA**

Tlaquepaque, Jalisco. 04 de Septiembre del 2019.

Contenido

Resumen y palabras clave.....	10
1. Planteamiento del tema	11
1.1 Delimitación del objeto de innovación	11
1.1.1 Definición de términos.....	12
1.2 Descripción de la situación problema.....	15
A) Potencialización de la vivienda en serie	16
b) Mitificación del material.....	18
C) Investigaciones que afectan la credibilidad del material	19
1.3 Importancia del proyecto.	23
2. Marco contextual y encuadre conceptual	24
2.1 Antecedentes empíricos del tema	24
2.1.1 Contexto normativo internacional.....	24
2.1.2 Contexto actual en México y su concepto de desarrollo sustentable	28
2.1.3. Información técnica sobre el BTC.	36
2.2 Referencias conceptuales del tema.....	39
2.2.1 Sustentabilidad	40
2.2.2 Normatividad de la edificación.	43
3 Diseño metodológico.....	44
3.1 supuesto de trabajo.....	44
3.2 Preguntas generadoras.....	44
3.2.1 Pregunta Principal.....	45
3.2.2 Preguntas secundarias	45
3.3 Objetivos	45
3.3.1 Objetivo general	45
3.3.3 Finalidades ulteriores.....	46
Desmitificar las características técnicas del material y comprobar algunas de sus bondades para la edificación de la vivienda sustentable.	46
3.4 Elección metodológica	46
3.5 Selección de técnicas y diseño de instrumentos	48
3.5.1 Entrevista	48
3.5.2 Diseño de experimento y muestreo de la tierra.....	48
Prueba de campo.....	50

Ensayos de BTC.	51
Normatividad Mexicana.....	51
NMX-C-508-2015 Bloques de tierra comprimida estabilizados con Cal.	53
NMX-C-404-ONNCCE-2012 Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo.....	54
NMX-C-036-ONNCCE- 2013 Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines – Método de ensayo.....	56
NMX-C-464-ONNCCE-2010 Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto.	57
NMX–037– ONNCCE-2013. Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones- Método de ensayo.	60
NMX-460-ONNCCE-2009. Aislamiento térmico – Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana – Especificaciones y verificación.	61
Análisis económico.	65
Análisis de ciclo de vida.	65
Normatividad Internacional.....	66
3 Análisis, desarrollo de la propuesta y resultados.	67
4.1 Síntesis interpretativa de los datos analizados.....	67
Contexto social-institucional.	67
Contexto profesional burocrático.....	68
4.2 Hallazgos aprovechables.....	70
Prueba de campo.	70
Ensayos de BTC	73
NMX-C-036 Resistencia a la compresión de bloques – Método de ensayo	74
NMX-C-464 Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto.....	79
NMX 460 Aislamiento térmico, Valor “R”	88
Análisis económico.	91
Análisis de Ciclo de Vida del bloque de tierra compactado.....	92
Resumen de normas regulatorias de mampostería en México.....	100
.....	100
¿Es el BTC un sistema constructivo viable para uso y autorización dentro de la normativa de construcción de mampostería en México?.....	101

Normativas internacionales.....	102
Conclusiones.....	105
Referencias.....	107
Anexo 1.....	110

TABLA 1 MATERIALES UTILIZADOS EN VIVIENDA EN MÉXICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE INEGI.....	17
TABLA 2 NÚMERO DE CRÉDITOS,2017 FUENTE: SHF.....	18
TABLA 3 VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE COLIMA FUENTE INEGI, 1996.....	20
TABLA 4 ESCALA DE DAÑOS EN LAS VIVIENDAS DE COLIMA FUENTE: CONAFOVI.....	21
TABLA 5 REGISTRO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL SUELO 1 FUENTE: GUERRERO.	39
TABLA 6 REGISTRO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL SUELO 2 FUENTE: GUERRERO.	39
TABLA 7 PORCENTAJES DE MATERIAL EN MEZCLA PARA ESTUDIO DE NORMAS FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	52
TABLA 8 NORMATIVAS DE MAMPOSTERÍA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	53
TABLA 9 PARÁMETROS DE RESISTENCIA NORMALIZADA A COMPRESIÓN	54
TABLA 10 FACTORES CORRECTIVOS POR LA ESBELTEZ DE LAS PILAS FUENTE: NMX-464	57
TABLA 11 RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL DE UN ELEMENTO DE LA ENVOLVENTE. FUENTE: NMX-460.	62
TABLA 12 RANGOS DE TEMPERATURA PROMEDIO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	63
TABLA 13 RANGO PORCENTUAL DE HUMEDAD RELATIVA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	63
TABLA 14 VELOCIDAD DEL VIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	64
TABLA 15 DATOS FÍSICOS DE BTC ESTABILIZADO AL 8% DE CEMENTO FUENTE: HOUBEN.....	64
TABLA 16 CANTIDAD Y PORCENTAJE DE MATERIALES EN MEZCLAS	72
TABLA 17 MEZCLAS CON ENSAYO A COMPRESIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	74
TABLA 18 RESISTENCIA MEDIA DE ESPECÍMENES	77
TABLA 19 RESISTENCIA A COMPRESIÓN TEÓRICA Y REAL.	78
TABLA 20 RESULTADOS COMPRESIÓN DIAGONAL	82
TABLA 21 DATOS DE CAPILARIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	85
TABLA 22 DATOS ABSORCIÓN INICIAL	87
TABLA 23 FACTOR DE RESISTENCIA.	88
TABLA 24 PORCENTAJE DE MATERIALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	95
TABLA 25 M2 POR APAREJO FUENTE; ELABORACIÓN PROPIA.	95
TABLA 26 TKM DE ACV FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	96
TABLA 27 DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN Y EFICIENCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	96
TABLA 28 IMPACTOS DERIVADOS DE LA PRODUCCIÓN DE BTC FUENTE: SIMAPRO	98
TABLA 29 COMPARATIVA DE EMISIONES DE LADRILLOS.	99
TABLA 30 RESUMEN DE RESULTADOS DE NORMATIVAS FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	100
TABLA 31 DESCRIPCIÓN DE FACTORES RELEVANTES PARA LA AUTORIZACIÓN DEL USO DE BTC COMO SISTEMA ESTRUCTURAL.	101
TABLA 32 MATRIZ NORMATIVAS 1 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	102
TABLA 33 MATRIZ NORMATIVAS 2 FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	103

ILUSTRACIÓN 1 AGRIETAMIENTO EN DIAGONAL SISMO 2003, VIVIENDA DE ADOBE. FUENTE: CENAPRED.....	20
ILUSTRACIÓN 2 REGIONALIZACIÓN SÍSMICA EN MÉXICO FUENTE: CFE	29
ILUSTRACIÓN 3 VIVIENDA ENTREGADA EN 2019 EN ESTADO DE MÉXICO FUENTE: ECHALEMx	30
ILUSTRACIÓN 4 PROTOTIPO DE VIVIENDA PARA OCUILAN, ESTADO DE MÉXICO FUENTE: ECHALEMx	31
ILUSTRACIÓN 5 INTERIOR DE LA VIVIENDA FUENTE: ELENA OCHOA.	32
ILUSTRACIÓN 6 EXTERIOR DE LA VIVIENDA FUENTE: ELENA OCHOA.	32
ILUSTRACIÓN 7 CONJUNTO DE VIVIENDAS ELISEO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	33
ILUSTRACIÓN 8 TERCER NIVEL DE VIVIENDAS FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	34
ILUSTRACIÓN 9 EXTERIOR DE VIVIENDA DE ADOBE EN ESTADO DE MÉXICO FUENTE: ARQ. NAYELI PANDURO.	35
ILUSTRACIÓN 10 INTERIOR DE LA VIVIENDA FUENTE: ARQ. NAYELI PANDURO.....	36
ILUSTRACIÓN 11 MAPA DEL ESTADO DE NAYARIT FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	49
ILUSTRACIÓN 12 IMAGEN SATELITAL DE LA COMUNIDAD DE ATICAMA FUENTE: GOOGLE EARTH.....	49
ILUSTRACIÓN 13 PRUEBA DE BOTELLA.	50
ILUSTRACIÓN 14 PRUEBA DE PASTILLA	51
ILUSTRACIÓN 15 RESISTENCIA A COMPRESIÓN FUENTE: NMX-404	55
ILUSTRACIÓN 16 VALORES MÁXIMOS DE ABSORCIÓN INICIAL Y ABSORCIÓN TOTAL DE AGUA EN 24 H FUENTE: NMX-404.....	56
ILUSTRACIÓN 17 OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE CORTANTE FUENTE: NMX-464.....	59
ILUSTRACIÓN 18 TIERRA CRIBADA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	70
ILUSTRACIÓN 19 PRUEBA DE BOTELLA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	71
ILUSTRACIÓN 20 PRUEBA DE PASTILLA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	72
ILUSTRACIÓN 21 VASO PARA PRUEBAS DE LABORATORIO EN VOLUMEN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	73
ILUSTRACIÓN 22 MUESTRAS DE TIERRA ESTABILIZADA CON ARENA Y CAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	73
ILUSTRACIÓN 23 BTC ANTES DE ENSAYO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	76
ILUSTRACIÓN 24 BTC CON FALLA SEPARACIÓN DE CARAS FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	77
ILUSTRACIÓN 25 ESPÉCIMEN PILA.....	79
ILUSTRACIÓN 26 ESPÉCIMEN MURETE Y PILA.....	80
ILUSTRACIÓN 27 MURETE EN PRUEBA DE COMPRESIÓN DIAGONAL.....	81
ILUSTRACIÓN 28 FALLA DE MURETE	83
ILUSTRACIÓN 29 ABSORCIÓN INICIAL DE AGUA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	84
ILUSTRACIÓN 30 BTC SUMERGIDO EN AGUA PARA PRUEBA DE ABSORCIÓN	86
ILUSTRACIÓN 31 EXTRACCIÓN DE ARCILLA FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	93
ILUSTRACIÓN 33 PRODUCCIÓN BTC FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ILUSTRACIÓN 32 PRENSA MANUAL PARA BTC FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 1 GRÁFICO DE PORCENTAJES POR TIPO DE MATERIAL. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA CON DATOS DE INEGI.....	17
FIGURA 2 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN DE CAMPO DE LOS DAÑOS DE LA VIVIENDA FUENTE: CONAFOVI.....	22
FIGURA 3 GRÁFICA TRIANGULAR DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS. FUENTE: UN-HABITAT.....	37
FIGURA 4 TABLA DE PLASTICIDAD PARA SELECCIONES DE SUELO FUENTE: CRATERRE, 1987	37
FIGURA 5 FÓRMULA DE RESISTENCIA DE DISEÑO A COMPRESIÓN FUENTE: NMX-404.....	55
FIGURA 6 ENSAYOS CON MEZCLAS DE BTC FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	75
FIGURA 7 GRÁFICO DE PRUEBA A COMPRESIÓN CON MUESTRAS 2 Y 3.....	75
FIGURA 8 GRÁFICA DE COMPRESIÓN REAL VS COMPRESIÓN TEÓRICA.....	78
FIGURA 9 COMPARATIVA DE FACTOR "R" EN ENVOLVENTE.	89
FIGURA 10 ANÁLISIS DE TEMPERATURA EN DÍA CALUROSO.....	90
FIGURA 11 PORCENTAJE DE COSTOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	92
FIGURA 12 DIAGRAMA DE CONTRIBUCIÓN. FUENTE: SIMAPRO	97
FIGURA 13 PORCENTAJE DE EMISIONES POR ETAPA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	99

Agradecimientos

Quiero agradecer, primeramente, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), durante la Maestría de Proyectos y Edificación Sustentable.

Al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), por todo el apoyo brindado y las instalaciones permitidas durante los diferentes procesos de investigación. Gracias a esta apertura y accesibilidad pude concluir satisfactoriamente este proyecto.

A los profesores:

Dr. Alejandro Mendo, quien siempre se mostró accesible e interesado por apoyarme a resolver mis dudas.

Dra. Ana Rosa Olivera Olvera, por su accesibilidad a compartir su conocimiento sobre la construcción con tierra.

Mtro. Enrique Cueva, por el espacio permitido en su área de trabajo y en las grandes aportaciones a mi proyecto.

Mtro. Francisco Álvarez, por su apoyo durante todo el proceso de investigación.

A mi padre por su apoyo incondicional y creer en mis ideas.

Resumen y palabras clave

La normatividad mexicana actual para el sistema constructivo de Bloque de Tierra Comprimida BTC, no incluye información y requerimientos que sean específicos para la producción y uso del material en el país. La falta de una correcta regulación de este material provoca su desuso, quitando la posibilidad de ser una opción para vivienda sustentable. Este proyecto pretende establecer los criterios regulatorios para que el BTC pueda ser incluido a las normativas oficiales, según sus requerimientos para ladrillo recocido y así, los profesionistas, usuarios y agentes gubernamentales tengan la seguridad de utilizar un material validado regulado que cuenta con los parámetros para la construcción.

Para este trabajo de investigación, se realizó un análisis de normativas para BTC en otros países, esto permitió identificar los vacíos existentes en la ley. Se realizaron diferentes ensayos en laboratorio que determinaron las características mecánicas y estructurales del sistema constructivo, también, se obtuvo un estudio de impacto ambiental y valoración económica, con la finalidad de destacar las ventajas del material.

Palabras clave: Construcción con Tierra, Bloque de Tierra Compactada (BTC), Normatividad de la Construcción, México.

1. Planteamiento del tema

Este proyecto está enfocado en incidir en la modificación o regulación del marco legal normativo de la construcción en México, para que la normativa para Bloque de Tierra Compactada (BTC), sea adecuada para que se reconozca como material de edificación alternativo y pueda ser competente frente a la demanda actual de materiales constructivos sustentables en el país

1.1 Delimitación del objeto de innovación

Este proyecto se ubica dentro del campo de la reglamentación oficial mexicana de los materiales de edificación y los sistemas constructivos, y busca reconocer y reunir las características físicas y mecánicas del BTC para que se pueda comparar con la normativa mexicana de construcción actual y las normativas para tierra cruda de otros países.

La interrelación de esta información servirá para conocer las debilidades y fortalezas del material y ,en su caso, fomentar su incorporación y pudiera ser autorizado dentro de las normativas de edificación, que tienen las instancias gubernamentales municipales, que licencian la construcción de proyectos, para que tanto los usuarios como los profesionales de la construcción lo consideren como una opción viable para la edificación de sus proyectos.

Por lo anterior, el objeto de innovación de este trabajo es dentro de la normatividad constructiva.

El proyecto es de naturaleza interdisciplinaria e intervienen distintas especialidades entre las que destacan el Derecho, porque se requiere comprender las normativas oficiales de construcción de edificaciones, para conocer qué es lo que demanda dicho documento y, aunque los materiales alternativos no se encuentren prohibidos explícitamente, sí existe un rechazo hacia ellos en la práctica profesional, al ser un material que no es aceptado para créditos hipotecarios y difícilmente se acepta en subsidios para zonas urbanas.

Además, gran parte del trabajo estará basado en el proceso que se debe seguir para que una investigación como esta pueda ser anexada dentro de alguna regulación existente, más allá del proceso de cabildeo, lo importante para este proyecto de investigación es, reunir la documentación necesaria, y datos cuantitativos que permitan a los trabajadores de gobierno encargados de este tipo de procesos, conocer las características mecánicas del material, para que su regulación pueda ser adecuada con el comportamiento del material.

Otra disciplina importante para este proyecto es la ingeniería civil, porque se deben aportar las pruebas técnicas y físicas del material, que son las aproximaciones científicas que garantizan la viabilidad del BTC como material de construcción y los cálculos estructurales para evaluarlo dentro de un sistema constructivo.

Como tercera disciplina está la sustentabilidad. Una de las definiciones más objetivas se encuentra en el informe Brundtland (ONU, 1987), en este informe se concluyó que *un desarrollo sostenible es aquel que garantiza las necesidades del presente, sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades.*

Es por esto por lo que, este proyecto buscó definir si el sistema constructivo de BTC, logra cumplir con el objetivo principal de la sustentabilidad, con base en un análisis de emisiones y costo financiero que se pudo comparar con otros sistemas constructivos como mampostería de ladrillo cocido y block de cemento.

1.1.1 Definición de términos

A lo largo de este trabajo se estarán empleando diversos términos recurrentes, como los siguientes:

Adobe: Masa de barro y paja, producidos a mano, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol, (Minke, 1994) es una de las técnicas más utilizadas en la construcción en México.

Autoproducción de vivienda: Proceso de construcción de vivienda bajo el control directo de las personas usuarias de forma individual o colectiva, la cual puede desarrollarse mediante la contratación de terceras personas o por medio de procesos de autoconstrucción y preferentemente incluirá atributos de uso eficiente de los recursos naturales, (CONAVI, 2019).

Autoconstrucción de vivienda: El proceso de construcción o edificación de la vivienda directamente por sus propios usuarios, en forma individual, familiar o colectiva.

Block de cemento: un bloque prefabricado, compuesto con arenas, morteros y cemento.

Bloque de tierra compactada: Este material surge como un proceso de industrialización del adobe, consiste en verter a un molde la mezcla de tierra -arcillas y limos- y aditivos como cemento y/o cal utilizando la compresión de manera manual o con ayuda de maquinaria, ayudando a acelerar el proceso de producción y mejorar su resistencia, (Ochoa, 1993).

Bitumen: Materia orgánica inflamable, incluye hidrocarburos como asfalto y cera mineral.

Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC): Es una institución pública autónoma, con personalidad jurídica y propia jurisdicción en toda la República Mexicana. Busca lograr la consolidación y estabilidad de industria, la elevación de sus niveles técnicos, el acercamiento de todos los empresarios que dedican esfuerzo a la prestación de aquellos servicios jurídicos, comerciales e industriales, que permiten el progreso y fortalecimiento de la construcción. La CMIC puede gestionar todas las reglamentaciones legales necesarias, representar a sus socios, organizar servicios de orientación y colaborar con las autoridades federales, estatales, municipales y con organismos públicos o privados, en las actividades de beneficio social que directa o indirectamente se relacionen con la industria de la construcción.

Comisión Nacional de la Vivienda (CONAVI): Se en carga de operar la coordinación de los subsidios para soluciones habitacionales.

Condiciones de habitabilidad en vivienda: se refiere a la certeza jurídica y a las características del material y los espacios de la vivienda, así como la infraestructura para acceder a los servicios básicos, definido por el CONEVAL.

Confort climático: concepto subjetivo que expresa el bienestar físico y psicológico del individuo cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire son favorables a la actividad que desarrolla.

Construcción con tierra cruda: es aquel sistema constructivo que se desarrolla en gran porcentaje con tierra, sin intervenir un proceso de cocción o fabricación previa a su instalación. Como afirma el autor Minke (1994), *La tierra es el material de construcción más importante y abundante en la mayoría de las regiones del mundo*, gracias a que es un material que regularmente se encuentra en el sitio a intervenir, sus técnicas de construcción son fáciles, de tradición constructiva y durables.

Crédito: Cantidad de dinero de carácter recuperable que recibe una persona beneficiaria que ha satisfecho los requisitos y criterios de selección de la entidad que lo otorga.

Ecotecnia: Instrumentos, técnicas o elementos que se desarrollan *in situ* con el fin de utilizar eficientemente los recursos naturales, aprovechando las condiciones inherentes del emplazamiento de la vivienda. Gracias a esto, se genera una disminución en la huella ecológica de la vivienda.

Instituto de Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT): Es la dependencia encargada de brindar créditos hipotecarios a los trabajadores afiliados a esta dependencia.

Ladrillo cocido: material cerámico compuesto de arcilla cocida, a través de hornos.

Materiales de construcción alternativos: Son aquellos materiales de edificación que han resurgido para dar una solución a la demanda de la vivienda sustentable. En principio son materiales que resultan económicamente accesibles por encontrarse *in situ* y tienen características que resuelven la demanda para el confort de la construcción; sin embargo, tienen la problemática que muchos de ellos se encuentran casi extintos por el uso abusivo –como algunas maderas- y otros se han dejado de utilizar gracias a que las normativas de construcción ha generalizado los requerimientos técnicos para las distintas regiones del país, y para diferente tipo de material para mampostería, lo que ha fortalecido la creencia de ser materiales no resistentes.

Norma Mexicana (NMX): Especificación enfocada a la calidad de productos, procesos, sistemas y servicios. La emisión queda a cargo de los Organismos Nacionales de Normalización (ONN). También se identifica como “norma de calidad”. Este tipo de normativa es voluntaria. Pero si un reglamento de construcción local cita una NMX la vuelve obligatoria en el lugar (Flores Corona, 2015)

Normas Oficiales Mexicanas (NOM): Son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes, que tienen como finalidad establecer las características que deben reunir los procesos o servicios cuando estos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana; así como aquellas relativas a terminología y las que se refieran a su cumplimiento y aplicación.

Estas normativas se deben de revisar cada cinco años después de su entrada en vigor para poder decidir si se modifican, cancelan o ratifican

Obras Públicas: Es la dependencia de gobierno que se encarga de regular en cada municipio los criterios para que cualquier tipo de construcción pueda ser habitada. Cada municipio tiene un reglamento de construcción por tener diferentes características geográficas y sociodemográficas, además de responder a un plan parcial y respectivo uso de suelo.

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial. (SEMADET): Esta secretaría se encarga de normar y formular la política ambiental, estableciendo los criterios y los programas de desarrollo sustentable del Estado, fomentado la protección, conservación y restauración de los recursos naturales de la identidad y la prevención y disminución de la contaminación ambiental, de conformidad con la distribución de competencias que establecen las leyes federales y estatales aplicables a la materia.

Esta secretaria es importante para poder conocer el proceso jurídico por la que tiene que pasar una normativa en materia de calidad para el medio ambiente y saber cuál es su postura respecto a los materiales de menor impacto ambiental

Vivienda sustentable: Espacio habitable que desde su diseño arquitectónico considera las necesidades fundamentales del ser humano y su contexto urbano, comunitario y natural, Proporcionando un bienestar general a sus habitantes con un ahorro económico familiar, mitigando las emisiones de Gases Efecto Invernadero y

considerando sistemas eficientes de agua y energía que contribuyen a la reducción del impacto ambiental.

Quincha: sistema constructivo tradicional ligero, generalmente realizado con un entramado de caña.

Tapial: sistema constructivo que consiste en rellenar un encofrado con capas de tierra de 10 a 15 cm compactando cada una de ellas con un pisón.

1.2 Descripción de la situación problema

La situación problema que pretende resolver este trabajo, es principalmente, identificar la ausencia de inclusión del sistema constructivo de BTC, en la normatividad mexicana que regula los sistemas constructivos de mampostería.

Diversos factores han sido determinantes para que las construcciones tradicionales al paso de los años hayan perdido fuerza tales como, la industrialización de materiales constructivos, las ventajas de materiales prefabricados, los mitos sobre la durabilidad de las construcciones con tierra, la diferencia de costos entre sistemas constructivos y la falta de normatividad en las construcciones con materiales tradicionales, en este caso de los bloques de tierra compactada.

En la normatividad actual sí existe una regulación, que en principio no es obligatoria y menciona los requisitos solo para producción de BTC, empero, esta a su vez se referencia de las normativas para mampostería de ladrillo cocido y block de cemento, de modo que, en algunos criterios suele ser contradictorio.

La normativa para BTC es la *NMX-C-508 Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal (2015)*, y como ejemplo de la afirmación del párrafo anterior, esta normativa exige que, para los bloques de tierra se debe de usar solamente cal como estabilizante o algún otro material natural en un máximo de 15%, sin embargo, existen estudios que confirman que la cal como estabilizante no cumple con los requerimientos técnicos, como compresión y absorción de agua que deriva dicha normativa.

A pesar de esta deducción del reglamento de construcción, podemos decir que la ley es un instrumento interpretativo, por lo que han existido casos aislados en los que se ha aceptado la habitabilidad de viviendas con este tipo de materiales, esto significaría que, si se presentaran los estudios para comprobar que el BTC, es un material resistente a las exigencias del reglamento, gracias a otro porcentaje o tipo de estabilizante, o asumir que un material con esta especificación no se comportará igual que un material cementante, se podría conocer en qué condiciones es apto y proliferar su uso.

Gracias a que esta única normativa no es de carácter obligatorio, y a que el material tampoco logra cumplir con todos los requisitos técnicos de las demás normas de

mampostería, las instituciones bancarias y algunos programas de subsidio no otorgan préstamos ni apoyos a construcciones de vivienda con este tipo de material.

Por el momento la única forma que un material con tierra cruda sea aceptado para un subsidio es para la autoproducción rural de vivienda, esto según datos de las *Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social para el ejercicio fiscal 2019* (CONAVI, 2019). Este tipo de políticas públicas provoca que el material se mitifique, y en el colectivo social se genere el pensamiento que los materiales naturales se deben solo a personas de escasos recursos, y/o que habitan en un entorno natural además, de eliminar la posibilidad que personas con un mayor poder adquisitivo puedan tomar la opción de elegir este sistema constructivo alternativo.

El rezago de los materiales constructivos alternativos se debe también a otras circunstancias políticas y socioculturales, algunas de las más importantes se describen a continuación:

A) Potencialización de la vivienda en serie

En México, existen localidades que han sido construidas casi en su totalidad con materiales tradicionales y que la tipología de la vivienda se ha convertido en un estilo único y parte de la sociedad que la vive, es el caso de algunos pueblos en Jalisco, Oaxaca, Colima, Michoacán, Chiapas entre otros. Esto es un indicador que el pueblo mexicano tiene a los materiales de tierra cruda arraigados como parte de su identidad y cultura, por lo que deberían de ser preservados por la ley mexicana para proteger nuestra identidad local.

La construcción con tierra ha sido un sistema de construcción que culturalmente se encuentra arraigada en muchos de los pueblos mexicanos, hasta el año 2000, sistemas como el adobe y la madera, se encontraban en 2do y 3er lugar de materiales más utilizados en el país.

Se realizó un análisis estadístico con el censo de población de vivienda del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), elaborado en el año 2000, cotejado con las Encuesta Nacional del Hogar (ENH) del 2014 y 2017, donde se puede observar el porcentaje de vivienda por tipo de material en muros. A continuación, en la siguiente tabla:

No.	Tipo de material usado en muros	Cantidad de viviendas Censo 2000		Cantidad de viviendas 2014 Encuesta (ENH)		Cantidad de viviendas 2017 Encuesta (ENH)	
		Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
1	Materiales de desechos	52,989.00	0.25%	39.00	0.01%	55.00	0.01%
2	Lámina de cartón	157,200.00	0.73%	136.00	0.04%	104.00	0.02%
3	Lámina de asbesto y metal	147,250.00	0.68%	774.00	0.23%	879.00	0.20%
4	Carrizo bambú y palma	207,532.00	0.96%	500.00	0.15%	488.00	0.11%
5	Embarro y bahareque	292,612.00	1.36%	755.00	0.22%	945.00	0.21%
6	Madera	1,436,353.00	6.68%	10,308.00	3.02%	12,306.00	2.78%
7	Adobe	2,135,694.00	9.93%	21,350.00	6.26%	26,383.00	5.96%
8	Tabique, ladrillo. Block, piedra	16,968,348.00	78.87%	307,016.00	90.07%	401,192.00	90.70%
9	no especificado	115,255.00	0.54%		0.00%		0.00%
total		21,513,233.00	100.00%	340,878.00	100.00%	442,352.00	100.00%

Tabla 1 Materiales utilizados en vivienda en México. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

En la tabla 1, se puede observar como la ocupación de vivienda aumenta en el país año con año, pero el único porcentaje en aumento es de los materiales como tabique, ladrillo, block y piedra.

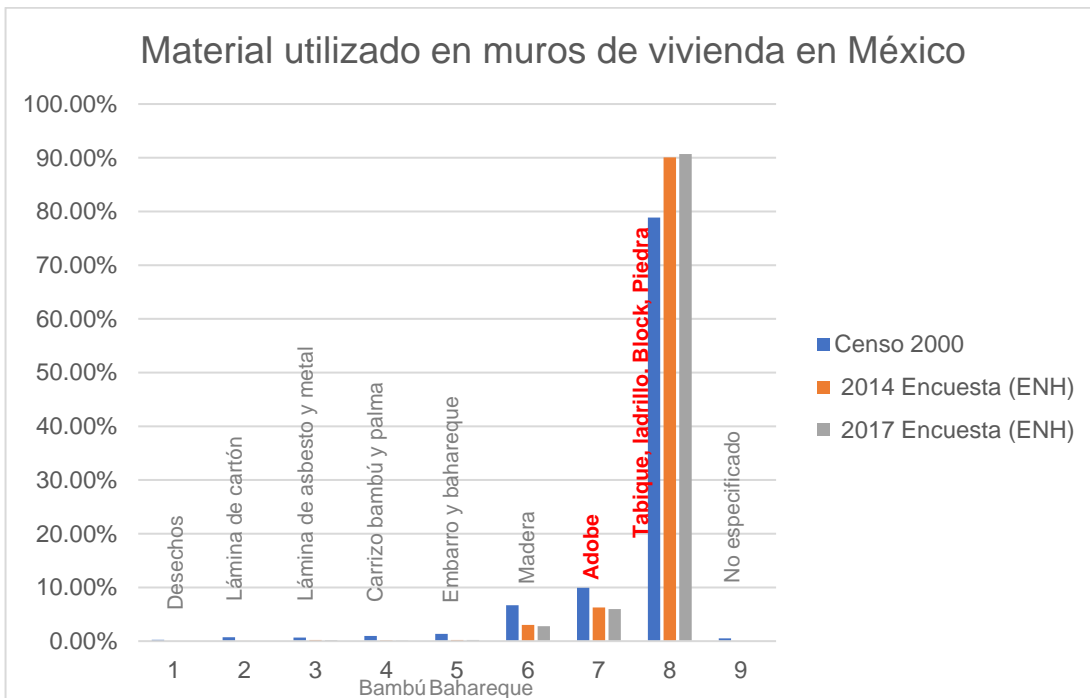


Figura 1 Gráfico de porcentajes por tipo de material. Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI

En la figura 1 se realizó un gráfico de los mismos datos, para poder analizar la disminución de técnicas con tierra cruda como el adobe, que es una técnica relativamente similar al BTC, por considerarse tierra cruda, ahí se observa como el adobe de encontrarse en un 10% en el año 2000, en 2017 solo alcanzó 5.96% en la encuesta nacional. Técnicas como el bahareque o el bambú no perciben el 1% de las viviendas en México.

Es necesario mencionar que las encuestas nacionales, hablan de solo una muestra de la población del país, que, a diferencia del censo, que se realiza a toda la población.

Se estima que la construcción con tierra ha disminuido considerablemente por las distintas políticas públicas que han surgido desde el año 2000. Para sustentar esta idea, se aportan los siguientes datos como ejemplo:

En el documento de Demanda de la Vivienda 2017, elaborado por la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF), se encontró, que la resolución favorable para los créditos destinados para la “autoconstrucción”, del 2016 al 2017, se redujo en un 49.1%, mientras que la adquisición de una nueva vivienda, aumentó en un 13%, el documento menciona que la auto producción se redujo *a consecuencia del cambio en las reglas de operación del subsidio de CONAVI* (Sociedad Hipotecaria Federal , 2017).

Esta información nos indica que el poder que tienen los ciudadanos de autoconstruir sus viviendas y elegir sus materiales es cada vez más difícil, porque, las políticas gubernamentales actuales están impulsando es, el modelo de vivienda en serie para clase media y baja.

Tipo de solución	2017		2016	
	Créditos	Porcentaje	Créditos	Porcentaje
Adquisición	650,270.00	59.7	575,409.00	49.3
Mejoramientos	379.47	34.9	475,353.00	40.7
Autoproducción	59,080.00	5.4	116,110.00	10
Total de créditos	1,088,815.00	100	1,166,872.00	100

Tabla 2 Número de créditos,2017 Fuente: SHF.

En la tabla 2 se observa que en un solo año de 2016 a 2017 se disminuyó un 5% los créditos para la autoproducción, y se aumentó en un 10% la adquisición de vivienda en serie.

b) Mitificación del material

Paradójicamente, el siglo XX, también denominado el siglo del conocimiento y la ciencia, dio preferencia a materiales, tecnología y sistemas constructivos que se traducen en alergias, problemas respiratorios, dolores de cabeza y un aire viciado, característico de los edificios modernos, cerrados y regulados por maquinaria a grandes costos energéticos y que desprenden gases tóxicos (Lewis, 2016). Como afirma este autor en su artículo, la sociedad mexicana ha optado por materiales industrializados y sintéticos, por considerarse materiales novedosos.

Por otra parte, la percepción de la sociedad mexicana entorno a este material, a pesar de ser un material que se ha utilizado para la edificación de numerosas ciudades en todo el país, es que se ha *encasillado* en un material para personas de escasos recursos, esto se debe a las políticas públicas anteriormente mencionadas y a que es un material que ha dado respuesta a las personas que se encuentran en vulnerabilidad, principalmente en zonas rurales de México. Por ser un material que se encuentra en el sitio, permite construir en la mayoría de las ocasiones y no necesita de un alto costo de producción, más aún si se realiza como una actividad comunitaria y de autoconstrucción, por esta razón, estos sistemas han logrado ser una solución a comunidades de muy escasos recursos.

Esta situación ha provocado que el material haya perdido valor añadido en las construcciones contemporáneas.

C) Investigaciones que afectan la credibilidad del material

Otra de las situaciones que han agravado el rezago de los materiales con tierra cruda, son las diversas investigaciones y teorías que afirman que materiales con tierra cruda, como el adobe, son materiales que no cumplen con la calidad necesaria para ser resistentes.

México, como sabemos, es un país que por su ubicación geográfica cuenta con alto grado de sismicidad, esto ha provocado diferentes eventos en el país, mostrando las deficiencias estructurales de las edificaciones que se han erigido a lo largo del tiempo, revelando que los sistemas constructivos con tierra, no son favorables para la edificación de vivienda. Como muestra se encuentra el siguiente estudio realizado en la ciudad de Colima:

Según un ensayo publicado por la Dra. María Mestre Martí, (2011) en la revista UNAM, al inicio del siglo XX, comenzó a constituirse la ciudad de Colima, en ella se edificaron viviendas e iglesias con materiales como el adobe, madera, embarro, varas, materiales perecederos y desechos, que con la llegada del ferrocarril empezó a disminuir por la entrada de productos foráneos como el acero y el cemento.

Tras varios sismos de intensidad moderada (6.7 grados Richter) en 1925 y en 1931, el año de 1932 fue un periodo de destrucción y desgracia para la capital por los cuatro sismos que la cimbraron, tres de ellos el mismo mes, el más fuerte el 3 de junio de 8.2 grados Richter [...] tan solo este mes se derrumbaron unas 1500 casas en su mayoría construidas con tabiques de adobe o barro cocido, incluidos varios templos o capillas. Nueve años más tarde en 1941, de 7.6 grados Richter, se encargó de dañar más de 80% de la ciudad de Colima.

A continuación, se presentará en la siguiente tabla la cantidad de vivienda existente entre 1930 y 1950 con materiales como la tierra cruda y materiales pétreos:

COLIMA	N° Total de viviendas 30's	N° de viviendas de materiales pétreos	N° de viviendas de materiales perecederos	N° Total de viviendas 50's	N° de viviendas de materiales pétreos	N° de viviendas de materiales perecederos
	13,913	1,001 (7.19%)	12,912 (92.81%)	24,988	4,170 (16.69%)	20,818 (83.31%)

Tabla 3 Viviendas en la ciudad de Colima Fuente INEGI, 1996.

Dentro de la tabla 3, se encuentran los datos arrojados por el censo realizado, donde se percibe la pérdida de construcciones con materiales *perecederos* y el crecimiento acelerado ya desde esa época de las construcciones con materiales *pétreos*.

Después del sismo de 1941, los destrozos de las viviendas mermaron la confianza en los materiales tradicionales (Ecos de la costa, 1941), el artículo de la Dra. Mestre más adelante afirma que materiales pétreos como el cemento y el acero fueron considerados materiales innovadores en la ciudad de Colima, y que gracias a su alta capacidad productiva en la agricultura de la ciudad se pudo invertir en materiales de este tipo para la planeación de la ciudad y vivienda, dando seguridad a sus habitantes.

Este artículo deja entrever la afirmación que los materiales naturales, fueron responsables de los destrozos en la vivienda en Colima, incluso los denominan *materiales perecederos*, pero no se menciona si las viviendas destruidas estaban en buenas condiciones antes de los sismos, o si estaban correctamente construidas.

Posteriormente, en 2003, hubo otro sismo de gran magnitud en la ciudad donde también resultaron dañados puentes, viviendas, infraestructura vial, el muelle fiscal, entre otros, de los cuales ninguno de estos fueron construidos con materiales naturales. Según el artículo *El sismo de Tecomán del 21 de enero de 2003* (CENAPRED, 2003), afirma que estos daños se deben al efecto de licuación en la tierra. Para el caso de la vivienda se vuelve a mencionar que la mayoría de las viviendas afectadas fueron viviendas con tierra, que, para ese año, el material ya solo representaba el 5% de las viviendas, se afirmó que una de las principales afectaciones fue la falla en diagonal, por lo que se considerará una prueba clave para este proyecto. En la siguiente imagen se mostrará dicha falla.



Ilustración 1 Agrietamiento en diagonal sismo 2003, vivienda de adobe. Fuente: CENAPRED.

En la ilustración 1 se observa los daños ocasionados en viviendas de adobe ocasionado por el sismo.

Otro artículo del mismo evento sísmico elaborado en un encuentro académico CONAVI-CONACYT, junto con la universidad de Colima, revelaron después de realizar un sondeo a 3 mil 332 viviendas de la ciudad de Colima que, el 65% de las casas realizadas con adobe sufrieron daños más graves de 4 a 6 (en una escala de 0 a 7), mientras que las casa construidas con mampostería o sistemas convencionales en su mayoría sufrieron daños tipo 1 y 2 dentro de la misma escala, (Zobin, 2010).

En la tabla 4, se presenta una gráfica como extracto del documento que explican dicha la escala de daños:

	Grado de daño	Estado de daño	Factor central de daño (%)	Descripción de daños visuales
<p>La evaluación de los daños fue realizada de acuerdo con la escala de daños de 7 grados</p>	1	Ninguno	0	Sin fisuras visibles
	2	Menor	0.5	Fisuras cortas en enjarre o fisuras a lo largo de la unión de los elementos planos
	3	Ligero	5	Fisuras cortas en forma diagonal a través de muros
	4	Moderado	20	Agrietamientos largos cerrados en forma diagonal a través de muros
	5	Fuerte	45	Agrietamientos diagonales abiertos en forma de cruz con caída de unas piezas de muro
	6	Mayor	80	El edificio requiere de demolición (o ya fue demolido)
	7	Total	100	Destrucción total de la mayoría de los elementos

Tabla 4 Escala de daños en las viviendas de Colima Fuente: CONAFOVI

En la figura 2 se puede observar la comparativa de las casas de adobe denominadas “tipo C” cómo el 65% de ellas sufrieron daños de tipo 4 a 6, mientras que las viviendas “tipo A y B” que fueron construidas con mampostería sufrieron impactos menores.

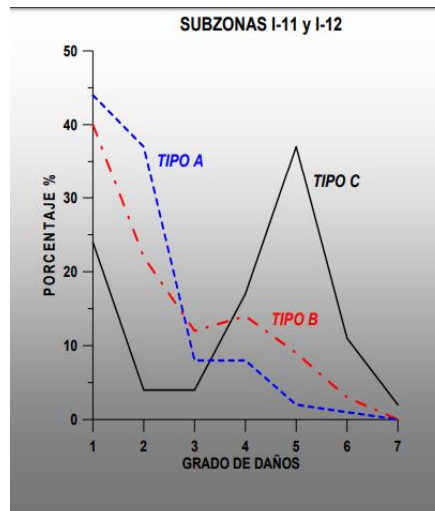


Figura 2 Resultados de la investigación de campo de los daños de la vivienda Fuente: CONAFOVI

Sin embargo, esta investigación no hace un análisis de la edad de las casas contabilizadas, si habían sufrido terremotos anteriores, si antes de este acontecimiento se encontraban en buenas condiciones o si eran viviendas que con el tiempo habían sido modificadas estructuralmente, que sería importante saber para determinar todos los factores que provocaron el debilitamiento estructural en las viviendas de adobe.

Ese estudio entre sus conclusiones propone prohibir las casas nuevas de adobe dentro de la Zona Occidental de México (urbano y rural) y recomienda a los propietarios de casas de adobe existentes su intervención y remodelación de acuerdo a las reglas de construcción sismo-resistente, (Zobin,2010).

Es importante mencionar que este estudio fue impulsado por la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI) quien se encarga de coordinar la función de promoción habitacional, es decir, particularmente se ha encargado de fomentar la producción de vivienda social en serie.

Este es un ejemplo claro de cómo la suma de fenómenos naturales, erróneas políticas públicas y la mala ejecución de un sistema constructivo han logrado demeritar la calidad de los materiales que ahora son considerados alternativos, como este caso existen otros a lo largo del país que estigmatizan la calidad de sistemas constructivos con tierra cruda.

1.3 Importancia del proyecto.

La importancia de que el marco normativo legal en México realice una regulación más comprensiva e inclusiva a materiales alternativos, en este caso para BTC, es vital para la viabilidad de proyectos que consideran al material como una buena opción para la construcción por sus cualidades para el confort humano, por sus bajas emisiones y su posible viabilidad económica.

El bloque con tierra compactada es un material que ofrece ventajas para el confort humano a un bajo costo. Fácilmente podría ser aceptado porque lleva un proceso de industrialización y esto tendría un control más práctico de su calidad (Ochoa, 1993).

Además de sus cualidades el bloque de tierra es un material que puede ser una respuesta clave para todas aquellas personas que acceden a los subsidios por medio de las convocatorias de autoconstrucción o los créditos hipotecarios, hoy en día esto no es posible por los criterios de habitabilidad.

Es importante señalar que, desde el punto de la sustentabilidad ambiental, este material sería una respuesta de estrategia pasiva para el mencionado desarrollo sustentable en México, porque se cree que es un material que genera pocas emisiones de CO₂, de modo que genera impactos positivos al ambiente, al tener casi cero emisiones a la atmósfera por transporte y producción, además al terminar su ciclo de vida puede reintegrarse a la naturaleza totalmente sin perjudicarla.

Como respuesta a la sustentabilidad social el bloque de tierra es una buena opción porque garantiza las buenas condiciones de confort climático dentro de las viviendas de tipo social, esto significa que la calidad de vida de las personas que habiten sitios que estén contruidos con este tipo de material, gozaran de una buena calidad en el ambiente, (Minke, 1994). También es un material que por su tipo de producción se vuelve más estético que el adobe, ya que, al ser compactado con maquinaria tiene todas sus caras regulares.

En países que son modelo para este tipo de normatividades como Nueva Zelanda, Estados Unidos, Francia, Alemania, Chile, España y Perú por mencionar algunos, han provocado que se genere un nuevo nicho de mercado para los constructores y arquitectos porque ahora se requiere de una asociación encargada de supervisar que el material como el sistema constructivo se elabore en óptimas condiciones.

La incidencia en la normativa también generaría que los demás materiales, tradicionales o no, se obliguen a cumplir con los estándares de calidad que exige la ley, lo que provocará que exista un mercado más competitivo y de calidad, para brindar el mejor servicio a los usuarios.

2. Marco contextual y encuadre conceptual

2.1 Antecedentes empíricos del tema

En la actualidad México ha tenido muchos proyectos arquitectónicos de carácter social, que ,debido a la falta de normativa para materiales alternativos, como el caso de la tierra cruda, han fracasado o han sufrido largos procesos burocráticos para su aprobación ante las exigencias o delimitaciones de las instancias gubernamentales, mientras que existen múltiples países que a lo largo de los años se han dado cuenta de la problemática sobre los materiales tradicionales y han incluido satisfactoriamente diferentes elementos como la tierra cruda en su marco legal para la construcción y esto ha permitido tener una opción viable para diversos proyectos sustentables.

2.1.1 Contexto normativo internacional

Se realizó un breve análisis de los motivos que sucedieron en otros países para conocer los antecedentes de cada lugar que impulsaron a regular los materiales con tierra cruda. A continuación, una breve descripción:

Normativa en Nueva Zelanda

Un caso de éxito respecto al tema de la construcción con tierra cruda es la normativa de Nueva Zelanda, donde en el año de 1998 y 1999 un grupo de arquitectos de la asociación de tierra cruda de Nueva Zelanda junto con ingenieros y otros arquitectos de la universidad de Wellington y Auckland, lograron desarrollar cuatro normativas que rigen los estándares de calidad y las características que deben de tener las construcciones con tierra cruda para que sean aceptadas por las instancias gubernamentales, que han tomado referencia de normativas anteriores que datan de 1978, estos documentos se dividen en:

NZS 4297 para Diseño de ingeniería para construcciones con tierra.

En esta normativa muestra los criterios de diseño y construcción básicos que debe cumplir, además de específicos estándares en materia de durabilidad, resistencia, contracción, aislación térmica, resistencia al fuego, principios y requisito para la flexión con o sin carga axial, principios y requisitos para el diseño de la carga sísmica, (New Zealand edict of goverment, 1998).

Estos criterios fueron referenciados de las normativas previas del concreto, acero, envolventes, resistencia de materiales y resistencia térmica.

NZS 4298 para Materiales y mano de obra de construcción con tierra.

En este documento se establecen los requisitos que deben de tener todos los edificios de tierra cruda con sistemas como el adobe y el muro tapial, siempre y cuando no sobrepase en los aditivos más del 15% de cemento y no tenga un requerimiento de

diseño específico, proporciona una serie de normas a cumplir para la mano de obra de las estructuras de los muros de tierra, también se incluyen métodos de prueba para materiales de construcción con tierra y criterios para que estas construcciones sean aceptables. En específico esta normativa tiene delimitado las características particulares del bloque de construcción con tierra, define su tamaño más utilizado, en qué porcentaje se deben de utilizar los agregados en el bloque y como debe de ser la mezcla con el que se juntará el muro para que el bloque no pierda sus propiedades térmicas, pero, sea resistente, (Edict of government, 1998).

NZS 4299 para Construcción con tierra que no requiere un diseño específico.

En esta normativa se definen las limitaciones, los materiales y métodos de construcción, considera las zonas con grandes vientos y zonas sísmicas para poder establecer requisitos sobre las características del lugar donde se desarrollará el proyecto, considera estándares para los materiales como su durabilidad, aislación térmica, pruebas de resistencia, durabilidad del concreto entre otros. Además, define las características y tipos para cimentación, estructura, muros, marcos de madera, ventanas y detalles de construcción y ejemplifica algunos de los casos de construcción para poder explicar la normativa.

Esta normativa también fue diseñada basándose en referencias normativas anteriores como normativas de construcciones en concreto, estructuras en concreto, estructuras de madera, eficiencia energética y diseño estructura, (New Zealand Edict of government, 1998).

NZS 3604 para edificios con estructura de madera.

Esta normativa con una última modificación en 2011, provee de métodos y detalles para el diseño de las estructuras de madera que no requieren un diseño específico de ingeniería, se diseñó basándose en diferentes normas ISO internacionales sobre la corrosión de los metales y de los estándares de calidad de materiales y diseño de estructuras, (Standars New Zealand , 2011).

Este conjunto de normativas es un claro ejemplo de solución a la demanda y la tendencia a las construcciones con tierra cruda y que no necesariamente tiene que ser una normativa, al contrario, contempla todas las necesidades técnicas para que el proyecto sea eficiente y con estándares de calidad altos.

Gracias a estas normativas Nueva Zelanda ha impulsado la construcción con tierra cruda haciendo de esta una construcción de alto valor en el mercado promoviéndola como *arquitectura de lujo*, por teniendo múltiples atributos que favorecen al confort humano que las habita, además se ha abierto un nuevo campo de trabajo, porque se generó una comisión de arquitectos e ingenieros dedicados a la supervisión de las construcciones hechas con tierra cruda y madera, dando posibilidad al gremio en desempeñarse en este nuevo giro.

[Normativa Española para Bloques de Tierra comprimidos.](#)

Según un artículo de EcoHabitar, (EcoHabitar, 2013). En diciembre de 2008, se publicó la primera normativa para tierra cruda en España. Optaron por regular el BTC,

porque se pensó que se debía mejorar e incrementar la construcción con tierra, y se decidió iniciar con este, debido a que era tierra cruda del que más información técnica se tenía a nivel internacional.

Una de las mayores limitaciones para realizar dicha normativa fue, que al ser un material no normalizado dificultaba su uso, no se sabía que valores se debían incluir en los cálculos, y las aseguradoras no cubrían este tipo de proyectos.

Ignacio Cañas, (como se citó en eco-habitar,2013), fue uno de los participantes en la redacción de dicha normativa, afirma que en el proceso de investigación algunos sectores no eran partidarios de aprobarlo, debido a que no existía un mercado establecido ni una producción estable. Fue entonces cuando se dieron cuenta que estaban engullidos en un círculo vicioso que se necesitaba romper; posterior a esto la siguiente dificultad sería la falta de fondos y de personal capacitado para esta técnica.

Legislación Argentina de la casa de Adobe

Ante la creciente demanda de construir casas viviendas con ventajas ambientales debido a la “crisis ambiental” que colaboren con lograr una menor contaminación y reducción del efecto invernadero, a partir del año 2013 se han legislado nuevas normativas para algunos de los ayuntamientos municipales de Argentina.

Este proceso inició en 2010 con una serie de investigadores de la Universidad de Buenos Aires que buscaban la adopción de medidas para la normalización y certificación del método de construcción natural o de construcción en tierra de viviendas y edificaciones comunitarias en principio en el Mar de la plata, para posteriormente replicarse en otras localidades (Nuevo diario de Santiago del Estero, 2017).

Este anexo a la ley también menciona las protecciones que deberán considerarse para las viviendas que sean edificadas en zonas húmedas y trata otros materiales como la paja, técnicas con materiales reciclados como el PET, cubiertas vegetales, terrazas verdes, entre otros.

Esta normativa que se inició en pequeñas comunidades, se ha logrado replicar en distintas ciudades de Argentina a partir del 2013, cada ayuntamiento va regulando la normativa de acuerdo con el contexto físico y meteorológico del lugar.

Normativa de Chile

A pesar de ser un país con alta actividad sísmica, Chile a partir del 2013, creó la normativa NCh3332 Diseño estructural- intervención de construcciones patrimoniales de tierra cruda. Esta normativa permite regular las intervenciones, remodelaciones, ampliaciones, etc, para todas las construcciones con valor histórico.

Esta idea surgió en 2009 frente a la necesidad de establecer condiciones técnicas para llevar a cabo las restauraciones y mantenimiento de las construcciones, posteriormente, en el año 2010, Chile sufrió de un terremoto, así que se decidió trabajar en esta normatividad con calidad de urgencia para poder rehabilitar los edificios afectados. (Colegio de Ingenieros de Chile A.G., 2014)

Esta normativa no es para obra nueva, pero, si abarca condiciones como establecer con precisión materiales, sistemas y elementos que abarca, calculo estructural, clasificar tipo de suelos, etc.

Dentro de las técnicas que se incorporaron fueron: albañilería de adobe, curado, tapial, quincha, estructura mixta y mampostería de tierra asentada en barro. (Colegio de Ingenieros de Chile A.G., 2014).

Normativa de Perú

Perú también es otro país latinoamericano con alta actividad sísmica en algunas de sus regiones y han creado a partir del año 2000 la normativa técnica de edificación con adobe que tuvo una reciente modificación en 2017, donde se anexó técnicas para “reforzar la tierra”, esta normativa lleva por nombre *NORMA E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada*. Y fue publicada por el ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

La idea de esta normativa es proyectar vivienda de interés social de bajo costo que pueda resistir los movimientos sísmicos, evitando su colapso y mejorar el sistema constructivo tomando la realidad de las construcciones de este tipo, (Ministerio de vivienda construcción y saneamiento, 2017).

Código de construcción para construcción con tierra en Nuevo, México EEUA.

El estado de Nuevo México a partir del año 2015, generó una normativa única para construcción con tierra, en específico, el adobe y el muro tapial, dentro de este código podemos analizar que para metros utilizan para asegurar que la edificación cumpla con características específicas, en este código se menciona los niveles máximos y mínimos de la estabilización, el tamaño del ladrillo (en caso de adobes), los refuerzos estructurales que necesita, entre otras características técnicas.

El resultado de esta normativa originó que se fomentara el uso de la construcción con tierra en Nuevo México y en lugares aledaños, además se han realizado edificaciones con esta tipología y certificación LEED, lo que ha generado alto impacto a nivel nacional e internacional, y añadido gran valor inmobiliario y estatus al material, a tal grado que gran parte de estos proyectos se han destinado para uso turístico y otras naciones también se han visto interesadas en esta normativa y en construcciones de este tipo.

Todas estas normativas anteriormente mencionadas permiten conocer que fueron realizadas con la intención de poder promover materiales alternativos de manera segura en diferentes países, a pesar de, las condiciones geográficas y climatológicas.

2.1.2 Contexto actual en México y su concepto de desarrollo sustentable

En este apartado se busca contextualizar la problemática que existe en el país divididos en dos situaciones, primero se realizó una breve descripción de algunos de los casos de construcción de vivienda de BTC, para mostrar las diferentes situaciones a las que ha tenido que enfrentarse, y segundo se hará una breve descripción de los intentos por parte de las instancias de gobierno por integrar la tierra cruda como elemento de construcción para que pueda ser admitido a algún tipo de subsidio.

Antes de presentar estas vertientes, es importante presentar la división del territorio mexicano por zonas sísmicas, que como ya se mencionó antes, gran parte del país es abatido constantemente por este fenómeno natural.

La regionalización sísmica (CFE, 2008) divide al país en cuatro zonas que se definen de la siguiente manera:

- **Zona A.** Es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% a causa de temblores.
- **Zona B y C.** Son zonas intermedias donde se registran sismos no tan frecuentes o son zonas que resultan afectadas por altas aceleraciones, sin que se sobrepase del 70% de la aceleración del suelo.
- **Zona D.** Es una zona donde se han reportado grandes sismos, la ocurrencia es muy frecuente y sobrepasan el 70% de la aceleración.



Ilustración 2 Regionalización sísmica en México Fuente: CFE

En la ilustración 2 se encuentra representado la zonificación elaborada por CFE, (Comisión Federal de Electricidad), de acuerdo a los tipos de zonas sísmicas establecidas anteriormente.

Debido a que México tiene en varios puntos de su territorio poblaciones en una zona sísmica tipo D, o que existen lugares que se acentúa el fenómeno por el tipo de suelo, como el caso de Jojutla o la Ciudad de México, el marco normativo en el país ha ido incrementando los requisitos para las construcciones y ha dejado fuera a aquellos materiales tradicionales como la tierra cruda, justificando que no son seguros para las condiciones del suelo y otras condiciones climáticas.

En el capítulo de hallazgos se encontrará más información que servirá para mejorar la resistencia de construcciones en las zonas más vulnerables por sismos.

Vivienda de BTC en México

El bloque de tierra compactado no es un material nuevo en el país, en este apartado se mostrará algunos ejemplos de vivienda en el país construidas con BTC, que han dado respuesta a la necesidad en diferentes contextos sociales, a pesar de las dificultades legales de construir con este material.

a) Financieras sociales

Existen empresas dedicadas a la producción social de vivienda llamadas *Financieras Sociales* o *empresas sociales*, dichas empresas contribuyen al

desarrollo de comunidades a través de la autoproducción asistida y por medio de créditos autorizados para materiales *durables*.

Un ejemplo de esta tipología se encuentra la *empresa social* de *EchaleMX*, fundada desde 1985, y desde entonces realiza proyectos de vivienda con ECO-BLOCK (sinónimo de BTC). A lo largo de su trayectoria han aprovechado los desastres de los fenómenos naturales para realizar producción asistida de viviendas en diferentes estados de la república como Chiapas, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Tabasco, Morelos, Ciudad de México, entre otros.

Esta asociación afirma que la composición de los *eco-blocks* es 90% arcilla y 10% arena, cal y cemento.

A continuación, algunas imágenes de los proyectos de vivienda:

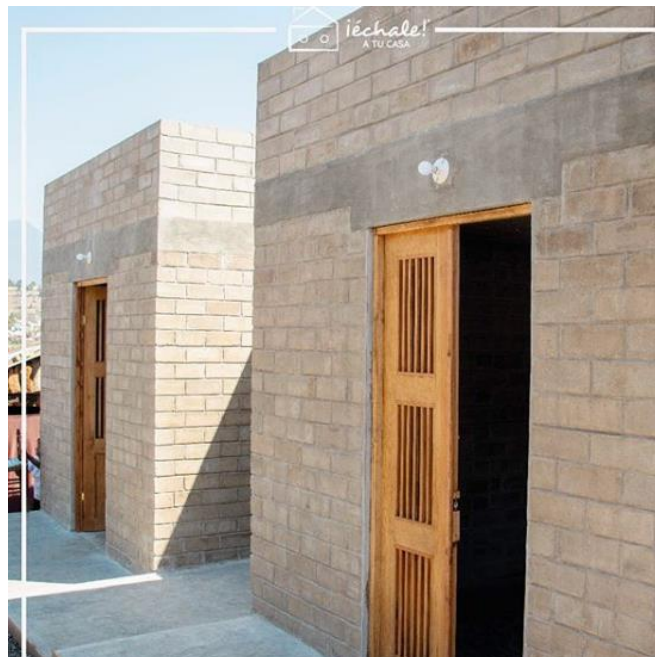


Ilustración 3 Vivienda entregada en 2019 en Estado de México Fuente: EchaleMx

La ilustración 3 representa uno de los fraccionamientos construidos con BTC en Estado de México, que, a pesar de ser una muy buena iniciativa, se puede percibir que los muros no se encuentran protegidos como se requiere para una construcción típica con sistema constructivo de BTC, aunque se desconoce el tipo de estabilizante de la tierra y/o su resistencia.

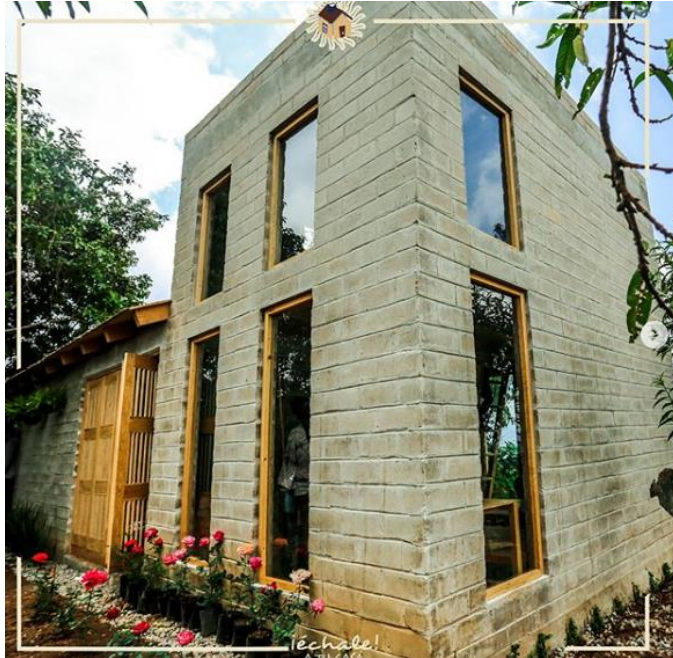


Ilustración 4 Prototipo de vivienda para Ocuilan, Estado de México Fuente: EchaleMx

En la ilustración 4 ya se puede percibir la humedad en los muros, causada por la falta de cimientos más altos, aunque, hasta la fecha no se han dado a conocer daños importantes en estas viviendas.

Estos dos ejemplos en las ilustraciones se realizaron después del sismo del 19 de septiembre del 2017 y no han presentado fallas, pero, no fueron construidas conforme a los manuales de construcción para BTC que ya existen, por ejemplo, en ambas viviendas se puede observar que los techos no son inclinados como se recomienda para las viviendas de construcción con tierra (Guillaud, 1995). Tampoco se observa una solución clara a la humedad e infiltraciones del exterior que pueda brindar la seguridad que no se deteriorará con el tiempo, más aún si se encuentran en una zona de riesgo sísmico.

b) Casa de BTC en los Guayabos, Zapopan

La vivienda elaborada por la Arq. Elena Ochoa a principios de la década de los 90's, es una muestra fiel que, el buen uso del sistema constructivo, logra edificaciones durables. Dicha vivienda se realizó con bloques estabilizados 4% cal y 4% cemento, y cuenta con dos niveles.

La cimentación se realizó de piedra 60 cms. Arriba del nivel de piso para evitar infiltraciones, se realizaron los muros con mamposteo armado cada 4 hiladas y cuenta con techos inclinados con estructura de madera.

Esta vivienda se encuentra en Zapopan, Jalisco, que también es una zona de riesgo sísmico y a pesar de esto, la vivienda no ha presentado ningún deterioro estructural.



Ilustración 5 Interior de la vivienda Fuente: Elena Ochoa.

La ilustración 5, es el interior del ingreso principal de la vivienda, aquí se puede percibir la cimentación de 80 cm de piedra, que sirve para proteger los muros de BTC de la humedad proveniente del piso.



Ilustración 6 Exterior de la vivienda Fuente: Elena Ochoa.

En la ilustración 6 se puede observar los techos inclinados elaborados con madera y teja, que ayudan a proteger los muros de la lluvia, así disminuir su deterioro.

La comunidad de los guayabos es una de las pocas comunidades ecológicas que obliga a construir con materiales naturales para reducir el impacto ambiental, y donde habitan familias hace más de 20 años.

[c\) Conjunto de viviendas Eliseo Van Aartesen](#)

También en el municipio de Zapopan Jalisco, se realizaron un conjunto de 8 viviendas de 3 niveles con BTC, dichos bloques fueron estabilizados con cemento y como se

muestra en el anexo, el arquitecto Eliseo Van Artesen mencionó que decidió utilizar el BTC solo como mampostería no estructural debido a los problemas burocráticos que tuvo que enfrentar en obras públicas.

Además del BTC, estas viviendas cuentan con otras ecotecnias como reutilización de aguas grises, azoteas verdes y huertos urbanos.



Ilustración 7 Conjunto de Viviendas Eliseo Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 7 se observa, de manera más contemporánea, la cimentación de cemento que ayuda a proteger los muros de BTC y las jardineras que ayudan a proteger de la lluvia.



Ilustración 8 Tercer nivel de viviendas Fuente: Elaboración propia.

También en la ilustración 8, se observa que de manera más contemporánea se realizaron diferentes techos inclinados con concreto para intentar disminuir la erosión de los bloques por lluvia.

Este proyecto es un ejemplo de que se puede diseñar proyectos de calidad que no sean para el sector social y que, son ejemplos dignos para potencializar este tipo de proyectos.

Políticas públicas.

Existen algunas dependencias como en CONAVI, INFONAVIT, o algunos municipios que han permitido la edificación de viviendas con este tipo de materiales siempre y cuando sean utilizados de acuerdo con cierto tipo de sector social o tipología.

A continuación, se describirá algunos de los intentos que han existido en el país por encaminar a la vivienda mexicana a un estilo más sustentable:

En el marco normativo de la CONAVI para la construcción de vivienda con producción asistida, (CONAVI, 2017) se establecieron algunos criterios mínimos, que deben cumplir las casas que son autoconstruidas con el objetivo de cumplir que toda la población tenga acceso a la solución habitacional.

Entre los diferentes criterios se pide las características físicas que debe de tener la vivienda, la cantidad de espacios mínimos y su uso, el área mínima de los espacios, la altura de muros y ventanas, el tipo de instalaciones, tipo de muebles para los espacios y la calidad mínima de los sistemas constructivos.

En la nueva versión de mayo 2017, en los muros está permitido el adobe y en los techos se permiten materiales como palma, paja, madera o tejamanil, (CONAVI, 2017).

El uso de materiales de este tipo está permitido, al menos para la obtención de subsidios de CONAVI, solo para la vivienda de autoproducción asistida y en zonas rurales, no se encuentra una opción similar para viviendas en zonas urbanizadas. A pesar de esta ordenanza, existe un proyecto realizado por la Arq. Nayeli Panduro, en una zona conurbana del Estado de México con crédito hipotecario de INFONAVIT para vivienda nueva realizado con Adobe, a pesar de no estar permitido para esta tipología (vivienda nueva para zona urbana), el proceso de aceptación se logró después de más de un año.



Ilustración 9 Exterior de vivienda de Adobe en Estado de México Fuente: Arq. Nayeli Panduro.

La ilustración 9 corresponde al ingreso principal de la vivienda, donde se puede observar la cimentación que se ha puesto de piedra y un techo sobresaliente que logra proteger los muros de adobe.



Ilustración 10 Interior de la vivienda Fuente: Arq. Nayeli Panduro.

En la ilustración 10 se observa el interior, donde se destaca los recubrimientos elaborados también con tierra cruda y el techo de madera.

Este caso es relevante para este proyecto, porque dio una primicia en el ámbito legal para los materiales de tierra cruda, ya que, la arquitecta Nayeli logro convencer y demostrar que esta tipología es durable, resistente y viable para la obtención de subsidios de INFONAVIT.

2.1.3. Información técnica sobre el BTC.

Como se mencionó anteriormente, el BTC, no es un material nuevo y su uso está extendido por todo el mundo. Es por lo que existen muchas investigaciones que proporcionan datos técnicos y mejoras para la estabilización de tierras de acuerdo con diferentes regiones.

El hecho de que muchas de las técnicas constructivas tradicionales con tierra cruda, se encuentren vigentes y hayan permanecido inalteradas con el paso del tiempo, es una muestra fehaciente de su capacidad para resolver los problemas de habitabilidad de importantes sectores de la sociedad, (Guerrero, 2007).

En una de las publicaciones de UN- Habitat (United Nations Centre for Human Settlements (habitat), 1985) se mencionó el tipo de suelo idóneo para las construcciones con tierra, e indica que preferentemente son los suelos más limo-arenoso, esto dependerá del peso y densidad de tipo de suelos, (figura 3).

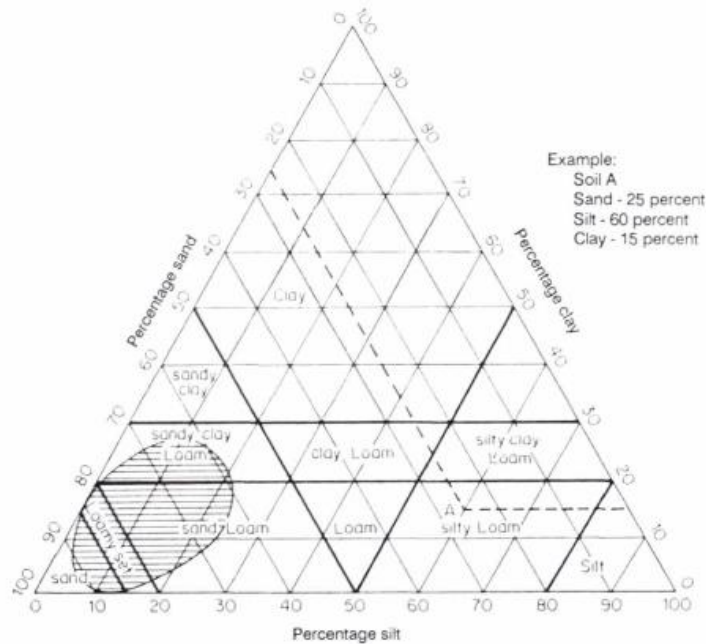


Figura 3 Gráfica triangular de clasificación de suelos. Fuente: UN-Habitat.

Seguido de esta información se presentó otra gráfica (figura4) mostrando el sistema constructivo idóneo de acuerdo con el porcentaje de plasticidad y al porcentaje de límite líquido, se puede observar que para trabajar el BTC, la mezcla debe ser más seca y menos plástica que la que se utiliza para la fabricación de adobes.

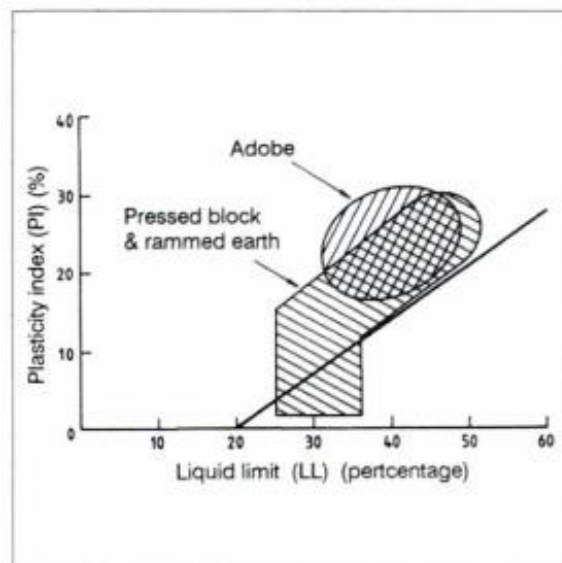


Figura 4 Tabla de plasticidad para selecciones de suelo Fuente: CRATerre, 1987

El manual de producción de CRATerre, (CRATerre-EAG, 1995). dice que no es necesario estabilizar, pero que en la tendencia en el mundo es de hacerlo, a pesar

de esta tendencia, solo se deberá estabilizar en un máximo del 50% del material; recomienda no estabilizar bloques que no se encuentren en contacto con el exterior o el agua.

Ventajas del Bloque de tierra compactada según un informe del Centro de Investigación Habitat y energía (Centro de Investigación Habitat y Energía, 2006)

- Presentan una forma regular
- La elevación de densidad por la compactación, mejora la resistencia a la compresión, la erosión, y a la acción del agua
- El costo del material por tierra, puede ser nulo, porque se puede utilizar la tierra extraída de la cimentación.
- La fabricación se puede realizar en el mismo lugar en donde se construirá la vivienda.
- Disminución de fisuras, ya que la contracción se efectúa durante el secado en cada bloque.
- Mayor flexibilidad en el diseño arquitectónico y en la construcción.
- Su terminado liso de los bloques, hace que no sea necesario la ejecución de enjarres, lo que implica un menor costo.
- Pueden aplicarse pinturas directamente sobre la superficie no revocada.
- El aislamiento térmico de un muro de BTC es mayor que la de un ladrillo recocido o un bloque de cemento.

Tipos de estabilizantes:

De acuerdo con el autor Rubén Roux en su investigación de BTC, (Roux Gutierrez, 2010) existen diferentes tipos o métodos de estabilizantes:

- Estabilización mediante otro suelo. Un suelo que contenga los finos suficientes para llenar todos los vacíos entre las partículas, hará que tenga una mejor distribución en los esfuerzos, esto hará que tenga mayor resistencia.
- Estabilizantes minerales:
Cemento. Actúa como estabilizador contra el agua
Cal. Estabiliza la arcilla, los iones de calcio de la cal se intercambian con los iones metálicos de la arcilla, formando uniones estabilizadoras.
Bitumen. Es apropiado para barros con bajo contenido de arcilla.
- Estabilizantes vegetales: las savias aceitosas y con contenido de látex, como el sisal, agave, banano.

Resistencia a compresión del BTC.

Según una de las primeras afirmaciones para resistencia a compresión simple del BTC, de Minke, (1994) es que es una desventaja del material porque difiere de los 5 a 50 kg/cm² esto depende no solo de la cantidad y tipo de arcilla sino también de la distribución granulométrica del limo, arena y agregados mayores, así como del método de preparación y compactación. Esto puede mejorar con los métodos de tratamiento y aditivos para incrementar la resistencia a la compresión del barro.

Una investigación realizada en la Universidad de Xochimilco (Guerrero L. F., 2011), permitió identificar resistencia de BTC estabilizado con cal en un 6 y 10%, con dos diferentes tipos de suelo y un curado de 7, 14, 28 y 60 días.

Tiempo	Suelo (T1) sin cal	Suelo (T1) 6% de cal	Suelo (T1) 10% de cal
7 días	8.17	15.59	33.9
14 días	8.64	18.56	34.72
28 días	12.83	20.56	48.78
60 días	12.11	16.49	45.55

Tabla 5 Registro de la resistencia a compresión del suelo 1 Fuente: Guerrero.

Tabla 5 corresponde a los ensayos elaborados con el suelo denominado T1, y muestra los resultados de compresión con 0%, 6%, y 10%, donde el mayor valor obtenido fue con 10% de cal en un 45.55 kg/cm²

Tiempo	Suelo (T1) sin cal	Suelo (T1) 6% de cal	Suelo (T1) 10% de cal
7 días	11.61	10.13	16.65
14 días	11.65	11.43	18.44
28 días	31.43	18.51	31.69
60 días	41.83	36.46	50.04

Tabla 6 Registro de la resistencia a compresión del suelo 2 Fuente: Guerrero.

La tabla 6 corresponde al suelo denominado t2, el cual también fue mezclado con 0%, 6% y 10%, donde el mayor valor obtenido fue con 10% de cal en un 50.04%

Con estas tablas se puede observar que a pesar de los 60 días de curado y el 10% de cal como aditivo en la mezcla, solo se logró una resistencia máxima del 50.04 kg/cm².

Con este resultado y con base en otras conclusiones el Arq. Gabriel Barbeta en su tesis doctoral, (Barbeta Solá, 2002). afirma que para obtener mejor resistencia en los bloques y pueda ser sumergible, es recomendable el uso de cemento en la mezcla y que se puede combinar con la cal para aminorar el costo por producción.

2.2 Referencias conceptuales del tema

En este trabajo es necesario definir algunos conceptos y definiciones, que dan origen a la problemática y los supuestos de esta investigación, se debe iniciar de lo general

a lo particular empezando por los conceptos actuales de sustentabilidad, para llegar a definir el marco legal en materia de construcciones en México, y como se puede incidir a manera que favorezca los conceptos de sustentabilidad en el país.

2.2.1 Sustentabilidad

La primera vez que se reconoce el término de “sustentabilidad” fue en 1987 en la Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el desarrollo de la ONU, fue encabezado por la doctora noruega Gro Harlem Brundtland, demostró que la manera que se había llevado el crecimiento económico estaba destruyendo al medio ambiente y estaba llevando a cada vez más personas a la vulnerabilidad y pobreza y definió que el desarrollo sustentable es “*el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones*” Brundtland. En el año de 2015, representantes de 193 países que conforman la ONU, en la cumbre por el medio ambiente en París, acordaron 17 nuevos objetivos para conseguir un desarrollo sostenible en 2030, como una nueva forma de entender el desarrollo sustentable entre los objetivos principales está el de erradicar la pobreza, promover la prosperidad y el bienestar de todos, proteger el medio ambiente y hacer frente al cambio climático.

Dos años antes de la cumbre de París en 2013, fue publicado el libro “*is sustainable still possible?*” (TWI, Londres,2013) donde describe el gasto energético que implica la obtención de los recursos como materia prima y cuestiona la factibilidad de un “desarrollo sustentable” como lo describen en Brundtland, a pesar de esto explica que básicamente el ahorro de los recursos dependerá de las acciones mínimas que decidamos en el día a día. Entender este concepto es muy importante para entender la importancia de este proyecto, porque la elección de un material y de su proceso de fabricación altera enormemente el costo energético para el medio ambiente, quiere decir que la simple acción de decidir entre un material local o elaboración de material *in situ*, se verá reflejado significativamente en la cantidad de CO2 emitido al medio ambiente.

Para cumplir con la definición de sustentabilidad, se debe considerar el aspecto medioambiental, social y económico.

Como parte del campo medioambiental, se debe considerar una regulación del uso de la tierra, correspondiente a la definición de “servicios ecosistémicos”, es importante proteger los valores que sean más importantes para el uso de la tierra, *Los servicios ecosistémicos son el motor del medio ambiente*, (FAO,2017).

La tierra, el agua, el aire, el clima y los recursos genéticos han de utilizarse de forma responsable para que beneficien también a las generaciones futuras. Entonces se debe considerar, por ejemplo, que la tierra para producir BTC debe de ser tierra extraída del terreno a construir o tierra que se haya sacado como residuo de alguna construcción cercana, con la finalidad de no abusar del recurso.

Asimismo, es importante preservar el recurso de la tierra para las generaciones futuras, como ejemplo, se menciona en el libro “El mundo al borde del abismo” por Brown (2011): *“La erosión del suelo está cobrando vidas humanas por causa de tierras degradadas o por la pérdida de la capa vegetal.*

La salud de la población no se puede separar de la salud de la tierra”, esto es otra razón de peso para no alterar la tierra de manera masiva (Brown, 2011), dado que las condiciones actuales no son muy favorables para las generaciones futuras, además el escritor también menciona que en la actualidad nos encontramos en la sociedad de usar y desechar, haciendo que todas las cosas tengan un fin de vida muy corto y que no se puedan reciclar en su mayoría, la construcción con tierra, es un aporte a mejorar esto, puesto que al finalizar su ciclo de vida, logra reintegrarse en su totalidad al entorno, sin generación de residuos.

Como respuesta a la viabilidad económica es importante comparar el costo de diferentes sistemas constructivos de mampostería y analizar su costo por producción para verificar que realmente sea un sistema competitivo al mercado.

como menciona en el artículo “Guía práctica para la valoración económica de los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas”

Mientras que algunos de estos bienes y servicios son identificables localmente, y sus beneficios son fácilmente cuantificables en términos de mercado, como por ejemplo, el turismo asociado a los espacios protegidos, otros muchos no están valorados en el marco de la economía clásica, y por esta razón pueden tener muy poco peso específico en las decisiones políticas que les afectan (Costanza et al., 1997), conduciendo a una rápida degradación y agotamiento (Daily et al., 2000), tal y como hoy estamos viendo.

Por estas razones, incluso desde un punto de vista exclusivamente utilitarista, es necesario valorar convenientemente el aporte que los sistemas ecológicos hacen a la economía, a través de los bienes y servicios, con el objetivo de no descapitalizar a una sociedad, la nuestra, que depende de este auténtico capital natural para su mantenimiento (Goodland y Daly, 1996).

Esta definición hace reflexionar nuevamente sobre la delimitación del uso controlado de la tierra, es decir, es otro motivo fuerte para apoyar la regulación. Esto va de la mano con los cambios de consumo en la sociedad, poco a poco debemos hacer énfasis del valor de lo que cuestan las cosas para que la sociedad no exija de manera tan acelerada los bienes o productos finales.

Otro teoría que soporta el concepto de sustentabilidad económica este proyecto es *la Modernidad reflexiva* (Cohen, 2005), este autor hace una crítica de los modelos económicos y la explotación de los recursos, el crecimiento extensivo de esta nueva forma productiva (industrialización), junto con el uso inadecuado y la explotación intensiva y sistemática de los recursos naturales, se fue extendiendo de manera incontrolada, sin poder prever lo que hoy para nosotros como un futuro incierto.

El proceso de globalización y mundialización adquiere particularidad en localidades concretas y vuelve a las realidades más complejas, diferenciadas y especiales.

El autor define a la modernidad reflexiva como el resultado de las consecuencias perversas de la sociedad industrial, que nos han conducido a una situación de riesgo en la que cada vez es más difícil establecer con seguridad y certidumbre una serie de acontecimientos.

El riesgo se convierte en un factor muy importante para la toma de decisiones de una sociedad como las instituciones y los actores políticos, el poder controlar los ingresos se convierte en una oportunidad para incrementar el peligro o incertidumbre en una sociedad, empero, los impactos ambientales son resultado de los procesos industriales y de urbanización, además, se hacen visibles años después de iniciar su impacto. El espacio entre el origen del impacto y las consecuencias es el principal conflicto para la construcción social y la relación con el deterioro ambiental. (Cohen, 2005).

En la actualidad se conoce el impacto negativo que generan las grandes empresas de materiales de construcción por materiales que se han industrializado para poder cubrir la demanda de vivienda que existe en el país, pero las externalidades que provocan y el gasto energético que cuesta no se consideran al momento de su elección en los proyectos a gran escala de la vivienda y los profesionistas como los habitantes no somos capaces de considerar este factor de riesgo para decidir entre la selección de un material u otro.

Además, la teoría de Cohen coincide con la realidad actual en México, porque si seguimos ignorando el impacto que genera nuestra forma de consumo al final los desfavorecidos seguirán siendo las personas marginadas del país, porque no tendrán forma alguna de tener acceso a la vivienda.

Finalmente para cumplir con la demanda de sustentabilidad social, la producción regulada de BTC, podría ser una opción viable para disminuir la marginación de los sectores más vulnerados, como menciona Tretault (2008), el ecologismo de los pobres ha sido menos conspicuo, puesto que sus preocupaciones ambientales tienden a ser más entrelazadas con preocupaciones de los medios de vida, además que los conflictos suelen ser entre grandes corporativos y las pequeñas poblaciones que luchan por proteger sus medios de vida, que se encuentran basados en economías de auto subsistencia, es decir, para ellos es mucho más difícil o casi imposible pensar en el impacto que están generando al extraer la tierra de la manera en que lo hacen actualmente, por el simple hecho de que no tienen la seguridad de poder cubrir sus necesidades básicas diariamente.

En la actualidad las regulaciones han funcionado para generar economía local, esto permite un diálogo e intercambio de ideas entre los afectados y el gobierno, es importante que las comunidades reconozcan su vulnerabilidad, y puedan colaborar entre ellos mismos a erradicar o disminuir los riesgos que lo llevaron a eso. A

diferencia de la amenaza que actúa como agente detonante, la vulnerabilidad social es una condición que se gesta, acumula y permanece en forma continua en el tiempo y está íntimamente ligada a los aspectos culturales y al nivel de desarrollo de las comunidades. (Cardona, 2003)

Por eso es importante que se luche por el reconocimiento de estos materiales que son o pueden ser una fuente de autoempleo de las comunidades más marginadas para que se vean beneficiadas al poder gestionar sus recursos e incluso se tengan proyectos de economía local donde puedan producir elementos o sistemas constructivos para ellos mismos, sin necesidad de recurrir a las grandes empresas como las cementeras y que además tengan la confianza que las instancias gubernamentales en materia de construcción avalen y certifiquen este tipo de prácticas.

2.2.2 Normatividad de la edificación.

Para poder integrar al Bloque de Tierra Compactado en el mercado mexicano se deberá cumplir con las siguientes normas:

La Secretaría de Economía (2016) publica en su página oficial las formas de normalización en México, donde se destaca lo siguiente:

Normalización: En un contexto de mercados mundiales caracterizado por la innovación tecnológica y la intensificación de la competencia, la actividad normalizadora es un instrumento indispensable para la economía nacional y el comercio internacional.

En México la normalización se plasma en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de carácter obligatorio, elaboradas por Dependencias del Gobierno Federal y las Normas Mexicanas (NMX) de ámbito primordialmente voluntario, promovidas por la Secretaría de Economía y el sector privado, a través de los Organismos Nacionales de Normalización.

Las normas mexicanas NMX son para demostrar que lo que se ha producido o comercializado está conforme a lo dispuesto por la propia norma que lo rige, se inicia el proceso de Evaluación de la Conformidad (que a su vez contiene procedimientos de certificación, verificación, calibración, muestreo, pruebas, según sea el caso).

No cualquiera puede asegurar que un bien o servicio se ajusta a la norma. Se requiere que una entidad de acreditación valore la competencia técnica y confiabilidad de los organismos de certificación, laboratorios de prueba, laboratorios de calibración y unidades de verificación.

Aunque las NMX no sean de carácter obligatorio, existen normas de construcción que, si son obligatorias y que se encuentran referenciadas hacia algunas NMX de mampostería; Un caso de esto es la Norma Técnica de Construcción (NTC) de Ciudad de México, su última modificación fue en 2017.

El documento oficial cuenta con Normas Técnicas para concreto, acero, madera y mampostería. La NTC de mampostería en Ciudad de México tiene como objetivo describir los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de mampostería.

Esta NTC de mampostería se basa en NMX como:

NMX-C- 036 Resistencia a la compresión de Bloques.

NMX-C-404 Mampostería para uso estructural.

NMX-C-464 Determinación de la resistencia de la compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como la determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto.

En el apartado 4, se determinará el comportamiento del BTC con base en estas normativas.

3 Diseño metodológico.

3.1 supuesto de trabajo.

Este proyecto, parte del supuesto inicial que la normativa para BTC que existe en México, carece de comprensión del comportamiento del material, haciéndola obsoleta para la regulación del buen uso y fabricación del material.

Si se lograra documentar los requerimientos básicos técnicos normativos, junto con sus propiedades físicas, ayudaría a delimitar el buen uso del sistema constructivo y facilitaría un proceso futuro de cabildeo para la integración en la normativa de construcción actual.

3.2 Preguntas generadoras

3.2.1 Pregunta Principal

¿Qué aspectos técnicos y normativos deben cumplir los bloques de tierra compactada para que puedan ser admitidos como material de edificación en la reglamentación mexicana de construcción?

3.2.2 Preguntas secundarias

¿Qué normas mexicanas reglamentan la autorización de materiales constructivos?

¿Cuáles sectores podrían ser más beneficiados?

¿Cómo se beneficiaría México frente a las demás naciones si existiera una normativa para los materiales tradicionales?

¿Qué factibilidad económica tiene el BTC?

¿Qué Potencialidad tiene el material?

¿Cuántas emisiones genera el BTC?

¿el sistema constructivo, es un material sustentable?

¿Qué estrategia se necesita para cambiar el pensamiento negativo de la sociedad hacia este material?

3.3 Objetivos

3.3.1 Objetivo general

Este proyecto tiene como objetivo identificar los criterios normativos y los aspectos físicos del material que, en conjunto, puedan persuadir a las autoridades competentes, a impulsar una mejora en la normativa, que sea adecuada al sistema constructivo de BTC, con la finalidad de potencializar su buen uso.

3.3.2 Objetivos particulares

Obtener información cualitativa de funcionarios públicos, bio-constructores, y expertos en derecho ambiental, para conocer el proceso institucional por el que debe pasar un material de estas características, y la problemática que enfrentan los constructores en el ámbito burocrático.

Identificar cuáles son los elementos técnicos que se consideran básicos en la normatividad mexicana para materiales.

Conocer en qué situaciones otros países detonaron las normativas de construcción con tierra cruda y que factores consideran para hacer válido este material.

Conjuntar los datos técnicos de la normatividad mexicana con los que han estipulado otros países en sus diferentes regulaciones.

Realizar un muestreo con diferentes porcentajes de tierra y estabilizantes para analizar su comportamiento.

Seleccionar algunas de las muestras para realizar BTC y hacer ensayos a compresión de acuerdo con los métodos de ensayo de la normativa en México.

Realizar ensayo de absorción de agua.

Realizar análisis económico.

Desarrollar un análisis de ciclo de vida del BTC que permita conocer el impacto ambiental potencial.

3.3.3 Finalidades ulteriores

Desmitificar las características técnicas del material y comprobar algunas de sus bondades para la edificación de la vivienda sustentable.

Ayudar a preservar las tradiciones y costumbres constructivas vernáculas de los pueblos mexicanos al utilizar materiales de edificación regionales.

Posicionar a México a nivel mundial como un país pionero en normatividades constructivas con acceso a materiales tradicionales y ecológicos.

Fomentar el uso del bloque de tierra compactado y que ayude a generar fuente de empleo local.

3.4 Elección metodológica

Para poder entender la complejidad de una mejora en la normativa para BTC, se utilizaron diferentes paradigmas epistemológicos.

Primeramente, se utilizó el paradigma explicativo, que analizó de manera cualitativa la estructura de la problemática. Se inició con este paradigma para poder entender cómo afecta el contexto social, es decir, como incide el pensamiento del colectivo social de profesionistas y trabajadores de instancias gubernamentales, al objetivo de la investigación y las consecuencias que ha generado.

Gracias a este primer acercamiento se pudo prever las posibles dificultades, que el material tuvo que cumplir para que pudiera ser aceptado social y normativamente.

Se buscaron diferentes normativas de otros países, que permitió conocer a grandes rasgos, los motivos que propiciaron documentos de esta índole, y que factores se consideraron para poder validar el BTC en las regulaciones de construcción.

Como segundo punto, partiendo de los resultados de la metodología cualitativa, con las distintas dinámicas socioculturales y normativas, se utilizó el paradigma descriptivo, que permitió brindar información objetiva. En esta parte de la investigación se buscaron todos los datos cuantitativos que se requerían para poder brindar una solución a la falta de regulación.

Se utilizó un posible caso real de construcción de BTC, para poder obtener datos más cercanos a la realidad.

Al conocer los requerimientos técnicos y físicos de la mampostería tradicional, el cual es el sistema constructivo más semejante al sistema de BTC, se implementaron diferentes ensayos para identificar las características de este material y realizar un análisis de la factibilidad en la mejora de la regulación para este producto.

En la selección de técnicas se describirá específicamente los procesos realizados para cumplir con los objetivos planteados

3.5 Selección de técnicas y diseño de instrumentos

Para lograr obtener los resultados de este trabajo de manera satisfactoria se necesita utilizar diferentes técnicas de investigación, de los cuales se han considerado las siguientes herramientas:

3.5.1 Entrevista

La técnica de entrevista servirá para documentar, la información cualitativa de las opiniones muy particulares de expertos en el tema, se realizarán dos tipos de entrevistas semiestructuradas, que permita conversar de manera fluida y que se pueda obtener información contrastante.

El primer grupo estará enfocado a profesionales que trabajen con materiales alternativos para conocer las problemáticas que han tenido circunstancias difíciles en los procesos burocráticos o con instituciones financieras para poder avalar los proyectos arquitectónicos, si les ha sido redituable económicamente realizar proyectos con materiales tradicionales y hacia qué sector sociodemográfico lo han enfocado principalmente y qué opinión tienen sobre la necesidad e incluir este material en la normativa actual.

En segundo lugar, a personas que se desarrollen profesionalmente en instituciones gubernamentales o expertos en materia de derecho o ingenieros, que en su labor hayan tenido que considerar o rechazar proyectos de esta índole y conocer su perspectiva sobre las limitantes del material sus recomendaciones de cómo estructurar la documentación requerida para que este proyecto sea viable en el marco legal actual.

3.5.2 Diseño de experimento y muestreo de la tierra.

Para poder realizar todas las pruebas de campo, muestreos, ensayos necesarios para la revisión de normativas, y datos aproximados a la realidad para el análisis de ciclo de vida, se tomó la decisión de utilizar tierra de un proyecto que contó con la factibilidad de construirse.

Se consideró idóneo este lugar debido a la tradición del pueblo de construir con tierra, y por contar con arcilla residual de la excavación de una cimentación. Este lugar se encuentra en la localidad de Aticama, Nayarit, que está ubicado a 46km de Tepic.

En la ilustración 11 se muestra el mapa de Nayarit y una ubicación aproximada a la localidad de Aticama.



Ilustración 11 Mapa del estado de Nayarit Fuente: Elaboración propia.

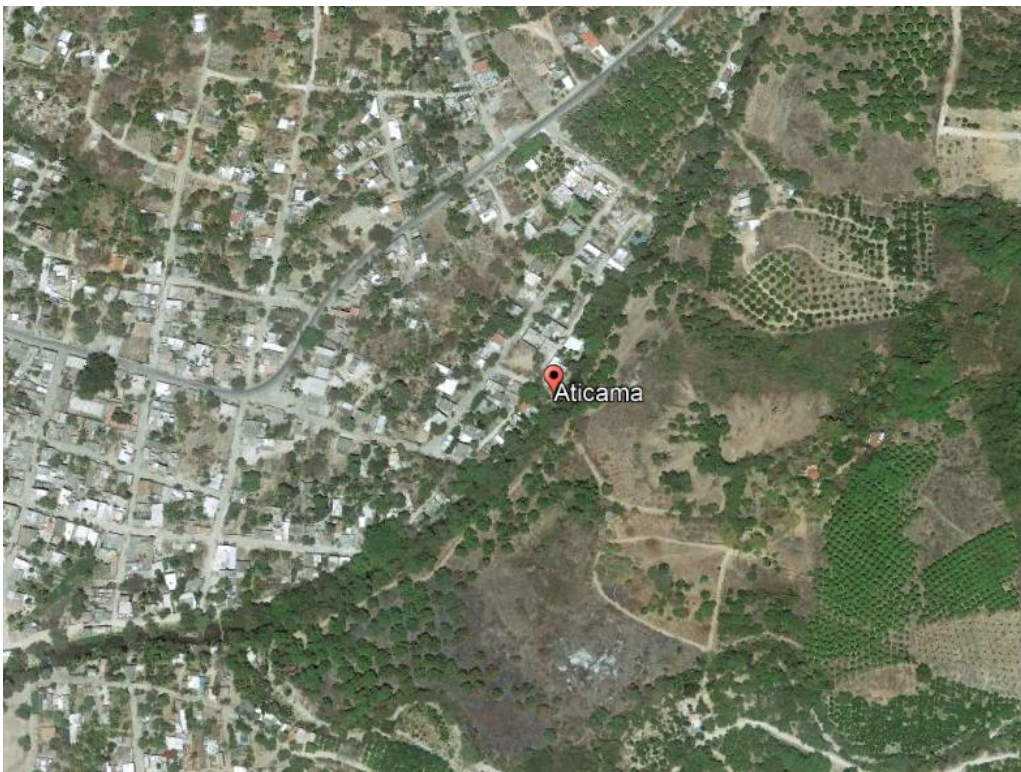


Ilustración 12 Imagen satelital de la comunidad de Aticama Fuente: Google earth

En la ilustración 12, se muestra una imagen satelital de la localidad de Aticama, localidad donde se encuentra el terreno de donde se extrajo la tierra para realizar los ensayos de este proyecto.

Prueba de campo

Con la arcilla del proyecto anteriormente mencionado se realizaron las primeras pruebas de campo, que nos permitió conocer su comportamiento con los estabilizantes, arena y agua, primeramente, se le incorporó arena de río, seguido de cal hidratada, cemento portland y agua.

Para poder tener una noción básica del tipo de arcilla con el que se contó se requirió de algunas pruebas de campo, que se encuentran recomendadas en el libro *Manual de construcción con tierra* (Minke, 1994) como:

Sedimentación simple: Esta prueba se basó en verter tierra en una botella larga de vidrio hasta la cuarta parte de la botella y el resto del agua, se agitó bien y se revisó varios días después para visualizar las sedimentaciones.

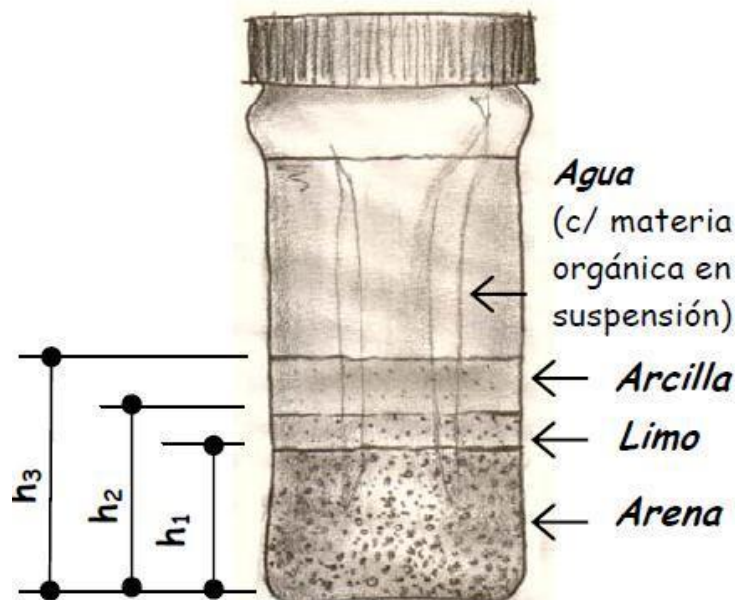


Ilustración 13 Prueba de botella.

La ilustración 13 es una representación de la sedimentación simple después de haber reposado por varias horas el recipiente.

Prueba de pastilla. (porcentaje de arcilla). En esta prueba se debió de crear una pastilla de arcilla con ayuda de un trozo de PVC de 2", la arcilla debe de estar humedecida y se debe dejar secar, cuando se encuentre seca se debe intentar desbaratar entre dos dedos.

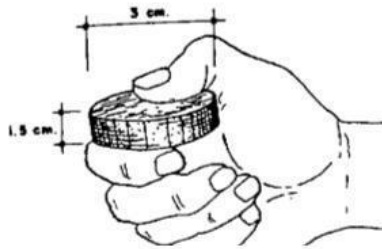


Ilustración 14 Prueba de pastilla

En la ilustración 14 se muestra el momento donde se hace esfuerzo para romper la pastilla después de haberla dejado secar.

Esto indicará: Si es muy resistente es arcilla prácticamente pura, si cuesta trabajo desbaratarlo, pero se consigue, es arcilla y arena fina o limos, y si se destruye fácilmente, quiere decir, que es un suelo poco arcilloso.

Prueba de Cilindro o “cigarro”. Con la tierra húmeda se lleva a cabo un cilindro de al menos 1 cm de diámetro, se debe aplastar un poco y se debe mantener colgado entre las manos hasta que se rompa; si se rompe a la longitud de 5 cm es muy pobre de arcilla, entre 5 y 15cm tiene una arcilla al 50% y entre 15 y 30cm es muy arcilloso.

Con este primer acercamiento se pudo tener una noción empírica de los porcentajes de estabilizantes que la arcilla requería para mejorar su comportamiento

Ensayos de BTC.

Con los resultados obtenidos con la práctica de campo se elaboraron 3 tipos de mezclas donde los factores que se controlaron fueron: Arcilla, arena, cemento, cal y su tiempo de curado.

Los bloques se realizaron con una prensa manual y tienen la dimensión de 29.5 x 14 x 10 cms. Se documentó con fotografías.

Se realizó un ensayo a compresión simple previo al análisis de las normativas para identificar que mezcla era idónea para trabajar con todos los ensayos.

Normatividad Mexicana

Para comparar el comportamiento del BTC con los requisitos técnicos de mampostería, se analizó la normativa ya existente para BTC, que a su vez está

referenciada en otras normativas. Cada una de este tipo de regulaciones tiene alguna descripción de método de ensayo para bloques y mampostería.

Gracias a estos ensayos se pudo comparar el comportamiento del BTC, con el ladrillo cocido o block de cemento.

Para realizar los ensayos de las normas que se describirán más adelante, se utilizó la mezcla con mayor estabilizante, pero que no fuera demasiado costoso, con la finalidad de poder cumplir con todos los parámetros normativos.

Para obtener datos más detallados, la mezcla se realizó con los porcentajes por peso de los distintos materiales utilizados.

La tabla 7 muestra las proporciones de 3 de los bloques ensayados con esta proporción, después de 28 días de curado.

Base Seca Fracción Másica (%)								
Arena		Arcilla		Cemento		Cal		Total
2.19	36%	3.17	52%	0.37	6%	0.37	6%	6.09
2.24	36%	3.23	52%	0.37	6%	0.37	6%	6.22
2.22	36%	3.20	52%	0.37	6%	0.37	6%	6.16

Tabla 7 Porcentajes de material en mezcla para estudio de normas Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8, se realizó una breve descripción de cada una de las regulaciones analizadas, que se dividen en dos partes, la primera, está dedicada a realizar ensayos a bloques simples y la segunda, para realizar un ensayo al sistema constructivo completo.

Tipo	Codigo	Nombre	Descripción
Mamposteria	NMX-C-508	Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Especificaciones y métodos de ensayo.	Especificaciones y métodos de ensayo de los bloques de tierra comprimida (BTC) estabilizados con cal.
Mamposteria	NMX-C-404	Mampostería. Bloques Tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural. Especificaciones y métodos de ensayo.	Establecer las especificaciones y métodos de ensayo que deben cumplir los bloques, tabiques ladrillos y tabicones para uso estructural en las edificaciones.
Mamposteria	NMX-C-036	Resistencia a la compresión de bloques o ladrillos y tabicones y adoquines	Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión simple
Mamposteria	NMX-C-464	Determinación de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería	Métodos de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como para la determinación de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad
Mamposteria	NMX-C-037	Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques	Método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción inicial y total 24h de agua por bloque
Sistema constructivo	NMX-C-460	Aislamiento térmico- valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República Mexicana- Especificaciones y verificación	Establece las especificaciones de resistencia térmica total (valor R) que aplican a las envolventes de las viviendas para mejorar las condiciones de habitabilidad

Tabla 8 Normativas de mampostería fuente: Elaboración propia.

NMX-C-508-2015 Bloques de tierra comprimida estabilizados con Cal.

El objetivo principal de esta norma es poder establecer las especificaciones y métodos de ensayo para los Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con cal, utilizados en muros de carga, divisorios, pudiendo ser aparentes y en bóvedas

Para poder cumplir con esta norma se tomaron como referencia, otras regulaciones de la mampostería tradicional, en este caso, se consideraron las normativas que más relevancia tienen para el objetivo de esta investigación, que son:

- NMX-C-036 Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines.
- NMX-C-037 Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones.
- NMX-C-460 Aislamiento térmico Valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana.

Para el estabilizante debe de ser cal que cumpla con la NMX-C-003 y un máximo de 15% de estabilizante en peso en seco. Se puede utilizar algún estabilizante natural.

Compresión simple

En resistencia a compresión debe cumplir con el método de ensayo de la NMX-C-036, aquí se indica que la resistencia a compresión mínima individual debe de corresponder al valor indicado en la tabla 8 y se debe demostrar que el 95% de la producción correspondiente presenta una resistencia al menos igual al valor correspondiente.

Bloques	BTC 3	BTC 6	BTC 9
Resistencia normalizada, $f'c$, (fractil 5%), k/cm ²	30	60	90

Tabla 9 Parámetros de resistencia normalizada a compresión

La tabla 9, muestra una ligera diferencia en la exigencia mínima para la resistencia a compresión porque varía el requisito mínimo, dependiendo del porcentaje del estabilizante (fractil 5%). Por el porcentaje de estabilizante utilizado en este proyecto, las pruebas que se realizaron deben cumplir con lo requerido para BTC 6.

Ningún resultado debe ser inferior a 0.8 veces el valor de esta resistencia.

Absorción de agua por capilaridad.

Este ensayo se debe seguir bajo las mismas condiciones de la NMX-C-037

Propiedades térmicas.

Si el material se pretende usar en construcciones con exigencias de aislamiento térmico, se deberá proporcionar información sobre las propiedades térmicas del producto, que deberán cumplir con lo establecido en la norma NMX-C-460.

NMX-C-404-ONNCCE-2012 Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo.

Esta normativa establece las especificaciones y métodos de ensayo que se necesitan para los elementos de mampostería de uso estructural de fabricación nacional y de importación.

Esta norma se complementa con las siguientes NMX:

- NMX-C-036 Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines.
- NMX-C-037 Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones.

En este documento (ONNCCE, 2012), se define a pieza de mampostería como: elemento prismático rectangular que puede ser fabricado con arcilla comprimida o

extruida sometida a un proceso de cocción con o sin vibro-compactación de una mezcla de agregados pétreos, cemento, hidráulico y otros cementantes.

Y se define como pieza de mampostería para uso estructural a los elementos con propiedades mecánicas necesarias para construir un muro con un espesor mínimo de 100 mm que tenga capacidad para soportar las cargas que se generan por acciones gravitacionales y accidentales.

Resistencia a compresión

La ilustración 15 muestra los valores de resistencia por unidad que deben soportar los bloques menores a 300 mm, que son:

TIPO DE PIEZA	CONFIGURACIÓN	RESISTENCIA MEDIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA MÍNIMA INDIVIDUAL (kg/cm ²)
Tabique menor a 300 mm	Macizo	110	70
	Hueco	90	70
	Multiperforado	150	120

Ilustración 15 Resistencia a compresión Fuente: NMX-404

En este proyecto se consideró para el análisis del bloque las resistencias requeridas para el bloque macizo resistencia media de 110 kg/cm² y resistencia mínima individual de 70 kg/cm².

Para la resistencia mínima individual se debe recurrir a la NMX-C-036, y para la resistencia de diseño a compresión se deberá seguir bajo la fórmula de la figura 5:

$$f_p^* = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2,5c_p}$$

Figura 5 Fórmula de resistencia de diseño a compresión Fuente: NMX-404

Donde:

f_p^* = es la resistencia de diseño a compresión, referida al área bruta

\bar{f}_p = es la media de la resistencia a compresión, referida al área bruta

c_p = el coeficiente de variación de la resistencia de diseño a compresión de las piezas, calculado como el coeficiente de la desviación estándar entre la media de la resistencia a la compresión

El valor utilizado de c_p para este caso será de 0.35, lo establecido para la producción artesanal.

Absorción inicial y absorción total de agua en 24 h.

La ilustración 16 muestra los valores de absorción inicial y absorción total de agua en 24 h que se necesita para los bloques.

Tipo de material	Absorción inicial para muros expuestos (g/min)	Absorción inicial para muros interiores o con recubrimiento (g/min)	Absorción total en 24 h en porcentaje
Concreto	5	7.5	12
Arcilla artesanal			23
Arcilla extruida o prensada	5	7.5	19

Ilustración 16 Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 h Fuente: NMX-404

La norma especifica que, los altos valores de absorción de agua inicial y en 24 h para estas piezas, las hacen no adecuadas para los lugares donde existan *agentes de intemperismo agresivo*.

NMX-C-036-ONNCCE- 2013 Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo.

Esta norma tiene como objetivo establecer el método de ensayo para la determinación de la resistencia a compresión.

Se establece los criterios técnicos que debe de tener la maquina donde se realizará el ensayo, el tipo de las placas cabeceadoras con las que debe contar la máquina y el tipo de acondicionamientos que debe cumplir la muestra antes de realizar la prueba.

La velocidad de la aplicación de la carga debe estar entre 84 kg/cm²/min a 210 kg/cm²/min.

Para calcular el esfuerzo a compresión de un bloque, se debe dividir la carga máxima entre el área total transversal de la probeta, es decir, el área bruta de una sección perpendicular a la dirección de la carga sin descontar los huecos.

$$F_p = P / A$$

Donde:

F_p = el esfuerzo resistente a la compresión, kg/cm²

P = es la carga máxima, kg

A = es el área bruta transversal del espécimen en mm².

Análisis estadístico.

Con esta normativa se realizaron ensayos de diferentes mezclas para poder determinar cuál era la más resistente, se realizó un estudio con el programa Excel, con base en los resultados obtenidos de los ensayos a compresión, para hacer un análisis multifactorial que permitió conocer posibles resistencias y pueda ser útil para investigaciones futuras.

NMX-C-464-ONNCCE-2010 Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto.

Este documento establece los métodos de ensayo para la determinación de la compresión diagonal y módulo de cortante en muretes, así como la determinación de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla y de concreto.

Se define como murete a una probeta de al menos una vez y media la máxima dimensión de la pieza y con el número de hiladas para que su altura sea aproximadamente igual a la longitud. Para este proyecto los muretes realizados fueron de 50 x 50 cm lo equivalente a un ladrillo y medio por hilada, el mínimo requerido.

Pila es la probeta formada por la superposición de al menos tres piezas y con el número suficiente de hiladas para que la relación de esbeltez se encuentre entre 2 y 6. Para este proyecto se realizó una pila de 4 piezas superpuestas para mantener la relación.

En los muretes, los cabezales que distribuyeron la carga fueron de 1/6 de la longitud del muro.

En las pilas se empleó un par de placas de acero entre los bloques de carga y la probeta con el mismo espesor.

En las pilas, el esfuerzo medio \bar{f}_m que se obtenga de los ensayos de las probetas se debe corregir multiplicándolo por los factores correctivos de la tabla 10:

RELACIÓN DE ESBELTEZ DE LA PILA	FACTOR CORRECTIVO
2	0.75
3	0.95
4	1
5	1.05
6	1.06

Tabla 10 Factores correctivos por la esbeltez de las pilas Fuente: NMX-464

Como este sistema constructivo es de tipo artesanal se consideró para la junta el valor máximo de 15 mm y un mínimo de 6mm.

Para que sea válido la determinación de resistencia de compresión diagonal y del módulo de cortante en muretes y de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería, se hicieron del mismo tamaño, con las mismas piezas, misma técnica de fabricación y mismo mortero, y se tomó el mínimo requerido por lote de 3 piezas.

Determinación de resistencia a compresión diagonal y del módulo de cortante en muretes.

Para la determinación de la resistencia a compresión en diagonal, la carga se aplicó hasta la falla de la probeta.

Para determinar el módulo de cortante se tomaron 10 lecturas entre la carga inicial y el 50% de la máxima estimada de tal forma que mediante estas lecturas de carga y de desplazamiento se pueda definir, mediante interpolación o gráficamente el esfuerzo cortante (T1) correspondiente a una deformación angular de 0.00005 así como la deformación angular correspondiente al 40% del esfuerzo cortante máximo (t2)

Determinación de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad en pilas.

Para la determinación de la resistencia a compresión de la mampostería, se aplicó la carga hasta la falla de la probeta.

Para la determinación del módulo de elasticidad de la mampostería se tomaron 10 lecturas entre la inicial y el 50% de la carga máxima estimada.

Se anotó el tipo y apariencia de la falla de la mampostería, mediante fotografías que se incluyeron en los resultados.

Resistencia a compresión diagonal.

Para obtener este dato se divide la carga máxima entre el área bruta del murete, la fórmula es:

$$V_m = P/t \cdot L_c$$

Donde:

V_m = resistencia a compresión diagonal del murete en kg/cm²

P = es la carga máxima aplicada en Kg

T = espesor del murete en mm

L_c = longitud de la diagonal a compresión en mm

Módulo de cortante

La fórmula para determinar el módulo de cortante es:

$$G_m = (T_2 - T_1) / (\gamma_2 - 0.00005)$$

Donde:

G_m = módulo de cortante en kg/cm²

T_1 = esfuerzo cortante correspondiente a 0.00005 de deformación angular en kg/cm²

T_2 = esfuerzo cortante correspondiente al 40% de la carga máxima en kg/cm²

γ_2 = deformación angular producida por el esfuerzo T_2

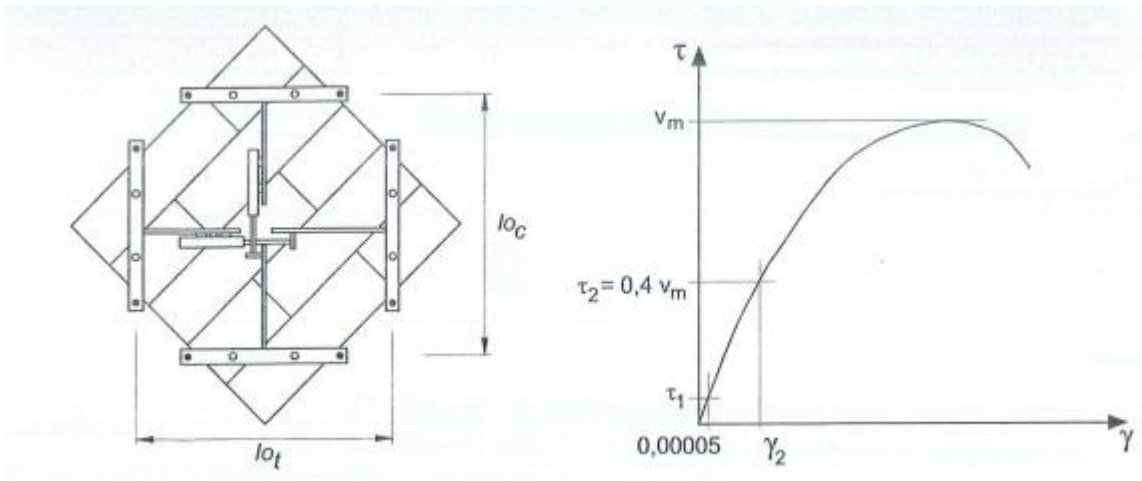


Ilustración 17 Obtención del módulo de cortante Fuente: NMX-464

La ilustración 17 muestra la representación gráfica del esfuerzo del muro por cortante.

Resistencia a compresión.

La resistencia a compresión de la pila se calculó con el promedio de las tres piezas probadas y se calculó con la siguiente fórmula:

$$F_m = (P / t \cdot b) \times \text{factor correctivo por esbeltez.}$$

Donde:

F_m = la resistencia a compresión de la pila en kg/cm²

P = carga máxima aplicada en kg

t = espesor de la pila en mm

b = ancho de la pila en mm

NMX-037- ONNCCE-2013. Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones- Método de ensayo.

El objetivo de esta norma es establecer el método de ensayo para la determinación de la cantidad de agua que absorben las piezas de mampostería, así como la absorción inicial por capilaridad.

Para el ensayo de absorción inicial se requirió de un recipiente de metal que con dos soportes para colocar el espécimen y llenarlo de agua hasta 3 o 4 mm arriba del nivel superior de los apoyos de metal inoxidable.

El espécimen se dejó durante 10 min con la cura inferior sumergida, a continuación, una imagen ilustrativa del procedimiento.

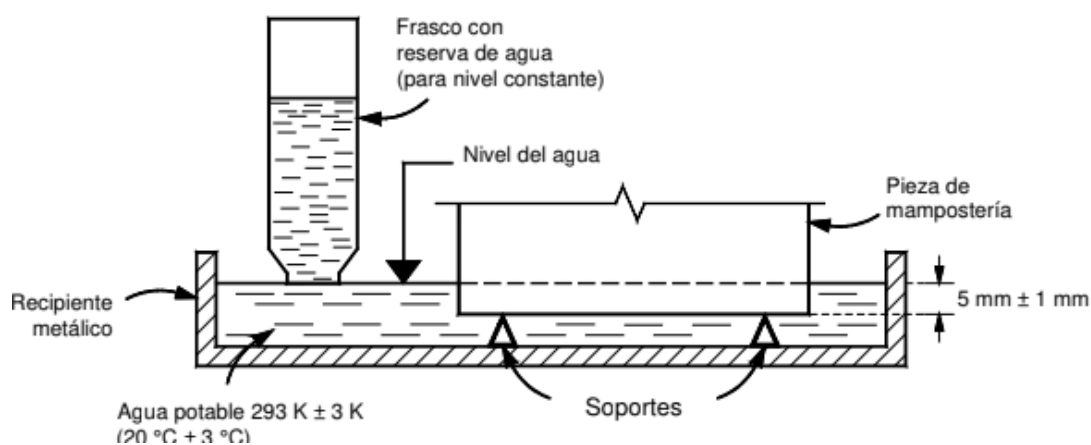


Ilustración 18 Absorción inicial (capilaridad)

La ilustración 18 es una representación gráfica de como la normativa para absorción de agua dicta el proceso para realizar el ensayo.

Absorción total en 24 h.

Se registró su masa inicial seca, se sumergió los especímenes en un periodo prolongado de 24 horas, posteriormente se secaron con un papel absorbente.

Cálculos de capilaridad y absorción total.

Fórmula capilaridad

$$C_b = 100(M_1 - M_s) / (S\sqrt{t})$$

Donde:

C_b = coeficiente de absorción inicial en $\text{g}/(\text{cm}^2 \times \text{min})$.

M = masa de agua absorbida por el bloque durante el ensayo en g.

M1 = masa húmeda en g.

Ms = masa seca en g.

S = superficie de la cara sumergida en cm².

T = tiempo de inmersión en min.

Fórmula para la absorción de agua

$$A = ((M_{ss} - M_s) / M_s) \times 100$$

Donde:

A = Absorción en porcentaje.

Ms = masa seca del espécimen en gramos.

M_{ss} = masa saturada y superficialmente seca en g.

[NMX-460-ONNCCE-2009. Aislamiento térmico – Valor “R” para las envolventes de vivienda por zona térmica para la república mexicana – Especificaciones y verificación.](#)

Para verificar que el BTC sea un material que ayude a disminuir el gasto energético para el confort en el interior de la vivienda, se utilizó la normativa NMX-460. Esta normativa dicta valores “R” dependiendo de la clasificación Köppen que se encuentre la zona a edificar, en este estudio se realizó un análisis en Nayarit por lo que corresponde a la clasificación climática AW, que corresponde a la zona térmica 2 de la normativa.

El valor “R” es la suma de las resistencias superficiales, interna y externa, y de las resistencias térmicas de las varias capas de los diversos materiales que componen al elemento de la envolvente, es el inverso del coeficiente del valor “U”, sus unidades son m²K/w.

La normativa exige un valor “R” mínimo para vivienda, que sirva para protegerse del medio ambiente; un valor “R” para habitabilidad que busca proporcionar un bienestar hidrotérmico a sus ocupantes; y un valor “R” para ahorro de energía.

En este caso solo se evaluó el valor “R” del muro.

A continuación, en la tabla 11 se presenta la tabla con los factores de valor “R” requeridos en la normativa por zona térmica y elemento.

Zona Térmica No.	Techos m ² K / W (ft ² h °F /BTU)			Muros m ² K / W (ft ² h °F /BTU)			Entrepisos Ventilados m ² K / W (ft ² h °F /BTU)		
	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía	Mínima	Habitabilidad	Ahorro de Energía
1	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	NA	NA	NA
2	1,40 (8,00)	2,10 (12,00)	2,65 (15,00)	1,00 (5,70)	1,10 (6,00)	1,40 (8,00)	0,70 (4,00)	1,10 (6,00)	1,20 (7,00)
3A, 3B y 3C	1,40 (8,00)	2,30 (13,00)	2,80 (16,00)	1,00 (5,70)	1,23 (7,00)	1,80 (10,00)	0,90 (5,00)	1,40 (8,00)	1,60 (9,00)
4A, 4B y 4C	1,40 (8,00)	2,65 (15,00)	3,20 (18,00)	1,00 (5,70)	1,80 (10,00)	2,10 (12,00)	1,10 (6,00)	1,80 (10,00)	1,90 (11,00)

Nota 4: 1 m² K / W = 5,68 ft² h °F / BTU

Tabla 11 Resistencia térmica total de un elemento de la envolvente. Fuente: NMX-460.

Dentro de la metodología para realizar el cálculo de la envolvente, se puede presentar bajo dos opciones, el primero, la opción prescriptiva o simplificada, que consiste en justificar los valores térmicos característicos de los elementos de la envolvente son, al menos iguales a los valores límite, que se encuentran como apéndice en la normativa.

La segunda opción, con la que se realizó el ejercicio de este proyecto, es la opción prestacional, que radica en la utilización de programas informáticos de cálculo, siempre y cuando estos programas utilicen normales climatológicas proporcionadas por el Servicio Meteorológico Nacional.

El modelo informático que se realizó debía permitir la comparación con el módulo de demanda del programa D.O.E.2.E del departamento de Energía de los Estados Unidos o el ASHRAE 90.1

Por consiguiente, se realizó un modulo para vivienda en el software design builder, el cual, utiliza la metodología ASHRAE 90.1 para la simulación de los proyectos.

Dentro del software, se utilizaron los datos climatológicos más aproximados de la localidad de Aticama; estos fueron del municipio de Tepic. Estos datos fueron de los periodos 2003 – 2017. La ubicación geográfica donde se encuentra dicha estación meteorológica es:

Latitud: N +21° 25.14'

Longitud: O +104° 50.58'

Altitud: 921 M.S.N.M.

A continuación, se muestran las gráficas con algunos de los datos más representativos del clima en Nayarit, para poder contextualizar los datos con los que se realizó el ejercicio en la simulación.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	15.5	15.2	16.8	17.2	19.1	21.2	21.4	21.8	22	21	17.1	15.5
1:01- 2:00	14.9	14.7	16	16.4	18.4	21	21.1	21.6	21.8	20.7	16.8	14.9
2:01- 3:00	14.4	14.3	15.2	15.6	17.8	20.8	20.8	21.5	21.6	20.3	16.5	14.3
3:01- 4:00	13.9	13.4	14.3	14.8	16.7	20.6	20.5	20.7	21.4	19.9	16.2	13.8
4:01- 5:00	13.5	12.6	13.5	14.1	16	20.5	20.3	20	21.2	19.6	15.9	13.2
5:01- 6:00	13	12.3	12.7	13.4	15.9	20.3	20.1	21.2	21.2	19.4	15.7	12.7
6:01- 7:00	8.7	7.3	7.8	8	15	20.4	21.3	20.2	21	17.9	15.1	8.4
7:01- 8:00	10.1	9.9	11.9	14.3	18.9	22.6	22.5	22.4	22.1	19.9	14.5	9.8
8:01- 9:00	13.5	12.5	15.4	17.7	20.6	22.4	23.8	23.3	22.3	20.6	15.8	13.1
9:01-10:00	18.1	19.8	22.6	24.5	27.5	26.8	25	26.3	25.6	25.2	19.7	19.2
10:01-11:00	21.6	23.9	25.8	27.5	29.9	28.6	26.3	27.5	27.1	26.8	22.8	23.2
11:01-12:00	22.3	24.1	27.7	30.1	30.2	27.7	27.5	28.8	27	27.4	24.9	23.8
12:01-13:00	24.3	26.4	29.5	30.7	31.7	29.5	27.2	27.9	28.3	28.5	26.4	26.3
13:01-14:00	25.1	27.1	29.5	30.5	31.1	29.4	26.9	26.8	27.1	27.9	27.3	26.4
14:01-15:00	25.1	26	29.5	30.5	31	29.3	26.7	28.8	27.7	27.9	27.5	26.3
15:01-16:00	23.6	25.6	27.8	28.7	29.4	27.7	26.4	24.2	25.6	26	26.9	23.9
16:01-17:00	22	24.1	26	27	28.1	26.6	26.1	23.9	24.6	25.1	25.7	22
17:01-18:00	22.1	23.6	25.6	26.6	27.3	26.3	25.8	26.6	25.2	24.8	24.2	22
18:01-19:00	17.1	18.8	20.7	21.5	23.3	23.9	25	22.9	23.2	22.4	22.4	17.1
19:01-20:00	15.7	17	18.7	19.6	22.9	23.3	24.3	22.2	23.1	22	21.2	15.1
20:01-21:00	18	18.6	20.2	21	22.4	22.9	23.6	23.6	23	22.4	19.9	17.7
21:01-22:00	17.3	17.3	19.1	20	21.6	22.5	23	21.4	22.7	22	19	17.1
22:01-23:00	16.7	16.7	18.3	19.1	20.7	22	22.3	21.6	22.4	21.7	18.2	16.6
23:01-24:00	16.1	16.1	17.5	18.2	19.8	21.5	21.6	22.3	22.1	21.3	17.3	16

Tabla 12 Rangos de temperatura promedio Fuente: elaboración propia.

En la tabla 12 se observan las temperaturas más altas durante el medio día, en los meses de abril – mayo.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0:01- 1:00	93	90	88	82	85	90	91	94	93	90	94	90
1:01- 2:00	94	91	89	83	86	90	92	94	93	91	94	91
2:01- 3:00	94	93	90	85	87	91	92	94	94	92	94	91
3:01- 4:00	95	93	90	84	87	91	93	94	94	92	93	92
4:01- 5:00	95	93	90	83	87	91	93	95	95	92	91	92
5:01- 6:00	95	92	90	83	87	91	93	93	95	92	90	92
6:01- 7:00	97	95	93	90	81	88	88	94	91	93	91	98
7:01- 8:00	94	89	86	76	67	79	82	84	85	87	92	92
8:01- 9:00	91	85	76	64	70	82	77	84	90	85	90	88
9:01-10:00	74	64	50	40	37	59	73	67	71	66	73	64
10:01-11:00	58	52	40	32	32	53	69	63	64	60	63	48
11:01-12:00	64	60	42	33	44	69	65	64	75	56	59	55
12:01-13:00	47	48	32	27	35	54	67	64	67	53	57	37
13:01-14:00	44	46	32	31	40	57	69	70	73	58	57	38
14:01-15:00	56	57	42	40	47	71	71	70	78	59	59	50
15:01-16:00	56	52	41	36	45	66	73	83	79	67	62	52
16:01-17:00	66	59	48	42	48	71	76	82	82	73	68	63
17:01-18:00	74	68	59	54	58	81	78	78	87	73	74	71
18:01-19:00	87	74	71	62	62	80	81	87	90	81	80	83
19:01-20:00	92	82	78	69	68	84	83	90	91	84	85	89
20:01-21:00	89	84	78	73	76	87	85	90	92	85	89	87
21:01-22:00	90	85	81	76	79	88	87	94	92	87	91	88
22:01-23:00	91	86	85	78	82	89	89	94	92	88	92	88
23:01-24:00	92	88	88	80	85	90	91	94	93	89	93	89

Tabla 13 Rango porcentual de humedad relativa Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 13 se observa el rango de temperatura anual por humedad, los meses con mayor humedad son enero y diciembre por la madrugada y se disipa durante el día.

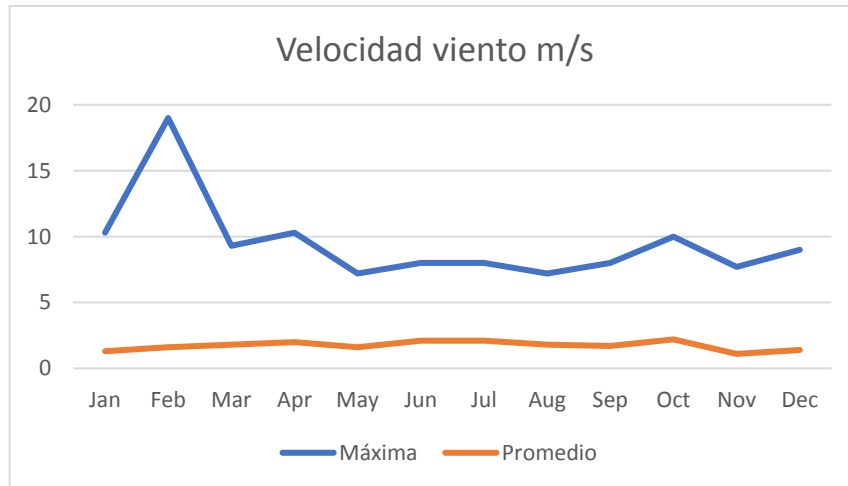


Tabla 14 Velocidad del viento. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14 muestra la velocidad del viento con la velocidad promedio mensual, nos informa que es en febrero cuando se han encontrado velocidad de viento más altas que en los otros meses.

En resumen, este breve análisis de las condiciones del lugar nos dice que se necesitará de materiales que nos ayuden a conservar el calor durante los meses de invierno y se necesitará obstruir el calor de los meses más calurosos, como mayo, durante la tarde, con la finalidad de lograr el confort térmico en el interior del prototipo.

Al no contar con instrumental para tener el calor específico, de los especímenes realizados en este proyecto, se tomó como referencia los datos, elaborados en la universidad de CRATerre y publicados en el libro *Traité de construction en terre* (Houben, 1989), donde se obtuvieron datos específicos de un BTC estabilizado con cemento al 8%. Esta información se encuentra en la tabla 15

Dicha información fue necesaria para el diseño de muros en el prototipo del software.

BTC 8% cemento	Calor específico		Conductividad		Densidad	
	650	J/kg-K	0.60	W/m-K	2200	kg/m ³

Tabla 15 Datos físicos de BTC estabilizado al 8% de cemento Fuente: Houben.

El diseño de muro de este prototipo fue de un espesor de 30 cm, pensando en que el sistema, por resistencia, se utiliza aparejo tipo tezón y se le añadió un revoque interior de 2.5 cm de espesor de cal.

Se consideró 4 habitantes dentro del prototipo y una ocupación de vivienda establecida por la metodología de ASHRAE.

Por último, se realizó una breve comparación con el sistema constructivo de block de cemento, con espesor de 17 cm. y sus respectivos revoques interior y exterior.

Análisis económico.

Se realizó un estudio de costos para valorar la diferencia de precios de un BTC y el impacto que generaría para un proyecto de vivienda.

El costo obtenido de este análisis fue con base en el tipo de producción artesanal y considerando la mano de obra de un oficial y un ayudante.

Se realizó una comparativa con el costo actual antes de impuestos del ladrillo cocido y el block de cemento, antes de impuestos, para conocer en que porcentaje es más elevado.

Análisis de ciclo de vida.

Este ACV radica en poder conocer el impacto ambiental potencial en la producción de BTC realizado manualmente en la población de Aticama, Nayarit; principalmente se desea conocer las emisiones posibles en CO₂

Esta herramienta nos permitió conocer el impacto potencial del bloque principalmente en dos etapas de su proceso: la obtención de materia prima y producción, no se consideró la distribución puesto que se trató de una producción realizada en sitio.

Se cotejó con otros ACV de ladrillo cocido, con la finalidad de tener una percepción potencial de la disminución de emisiones y ayudar a impulsar el uso de este material

La medida del ladrillo de BTC es de 29.5 x 10 x 14 cm

Para realizar el análisis del ciclo de vida (ACV) se utilizó la metodología descrita en la norma internacional ISO-14040 (ISO,2006), donde se define que se deberán cumplir los siguientes objetivos:

1. Definición del objetivo y alcance del ACV.
2. Análisis de inventario de ciclo de vida.
3. Evaluación de Impacto de ciclo de vida.
4. Interpretación del impacto ambiental

En este análisis se utilizó el software de SIMAPRO con la metodología CML base line EU25, este método fue creado por la Universidad de Leiden en Holanda en el año 2001. Este método es utilizado en las declaraciones ambientales de producto (EPD, por sus siglas en inglés), permite observar 10 categorías de impacto ambientales como:

- Calentamiento global
- Acidificación
- Ecotoxicidad marina
- Ecotoxicidad terrestre
- Eutrofización
- Toxicidad humana
- Reducción de capa de ozono
- Oxidación fotoquímica
- Agotamiento de los recursos abióticos

Se utilizó esta metodología, dado que, es utilizada para realizar las declaraciones ambientales generales de producto (PCR, por sus siglas en inglés).

Las reglas de categoría de producto permiten que los productos sean equiparables, en este caso las RCP pedían:

Evaluar el impacto por una tonelada de material.

Considerar el transporte de todos los materiales, desde la extracción, hasta su destino final.

Normatividad Internacional.

Por último, se revisó normativas de construcción y producción de materiales con tierra en diferentes países del mundo, con la finalidad de realizar una comparativa de los criterios técnicos y del entorno que cada uno considera.

Estos criterios se contrastaron con las normativas para mampostería en México, con la finalidad de identificar las carencias que se tiene actualmente para poder incluir a este tipo de materiales.

3 Análisis, desarrollo de la propuesta y resultados.

En este capítulo se constituye la parte más sustancial del proyecto, se presenta una síntesis de hallazgos obtenidos a partir de las diferentes técnicas de investigación que se describieron en el capítulo anterior.

4.1 Síntesis interpretativa de los datos analizados

Contexto social-institucional.

Uno de los primeros hallazgos de la información cualitativa que se obtuvo por medio de las entrevistas elaboradas al sector público y sector privado, se confirmó la siguiente información:

Existen funcionarios de gobierno en materia de derecho ambiental que hoy en día desconocen el material o ignoran algunas de sus bondades, además mencionan que la política pública se muestra a favor de materiales que reduzcan el medio ambiente siempre y cuando se cumpla con certificaciones y regulaciones ya establecidas y además se contextualice la regulación del uso del BTC, es decir, que se establezcan los criterios del lugar donde pueda utilizarse, ya que una de sus bondades es evitar las emisiones por traslado.

Como parte de las entrevistas realizadas en SEMARNAT, se afirmó que la regulación ayudaría a que las instituciones de gobierno tengan información sobre las emisiones producidas por producción de material, por lo tanto, están a favor de materiales alternativos, como segunda ventaja de la regulación se mencionó que, además, se podría ayudar a reducir las zonas de vulnerabilidad, porque se crearía una forma de producción más sana.

También, el Ingeniero Dante Lepe quien ha intentado en administraciones pasadas, la propuesta de una normativa de construcción para bambú. Menciona que es importante realizar proyectos que principalmente sean económicamente atractivos para diferentes comunidades afirma que *-Sin economía no hay ecología-* y recalca deben unirse en este tipo de proyectos los estudios y talleres realizados en universidades para ampliar el conocimiento en los estudiantes, *- la parte del aval de la institución (universidades) es muy importante y que se integren poco a poco, porque finalmente son los que van empujando y los que van creyendo en el proyecto, todos los proyectos, este, exitosos que se han tenido es porque desde las instituciones, los estudiantes los han apoyado, por eso estamos aquí (risas).-*

Contexto profesional burocrático.

La falta de regulación obligatoria del Bloque de Tierra compactada u otros materiales alternativos ha provocado que los procesos para la solicitud de subsidios, créditos hipotecarios, o licencias de construcción, se extiendan de entre uno a tres años, esto por la ignorancia de las personas que autorizan este tipo de procesos, a pesar, que algunas de las instituciones gubernamentales se encuentran a favor de materiales alternativos como la tierra cruda. Tal es el caso de la Arq. Nayeli Panduro, quien logró realizar la primera vivienda de adobe con subsidio de INFONAVIT y el trámite a realizar para conseguir dicho subsidio en la categoría de “Vivienda nueva” fue de 1 año y menciona:

Debería de existir un reglamento como de construcción natural y debería de haber un reglamento para cada cosa, uno de adobe, uno de paja, uno de bahareque, para que sea más fácil que ellos puedan ver si cumple o no cumple esa norma, no?, porque hay reglas para este tipo de construcciones, entonces, nosotros lo sabemos, pero ellos no lo saben, por eso dudan tanto, si ellos supieran como “ ah si cumple el A,B,C,D, sí cumple, pasale, ya” no,?

¡los tiempos!, este, INFONAVIT, da tiempo de seis meses, para que tú como constructor termines la casa de pé a pa, desde cimentación hasta acabado, con la llave en mano 6 meses, entonces, para bioconstrucción, es un tiempo muy chiquitito, no no es factible, porque los tiempos de bioconstrucción son totalmente distintos a la bioconstrucción tradicional, los tiempos de secado del adobe, ósea para que te seque la pieza bien, ósea son dos meses. (Panduro, 2017)

Empero, con la Lic. Betsabé Romero actual gerente técnico de INFONAVIT delegación Jalisco, mencionó que desconoce el caso y afirma que en la actualidad no es posible la construcción de viviendas con sistemas constructivos que no cumplan con la normativa oficial de la construcción.

Otro caso del extenso proceso burocrático, fue el proyecto de 8 viviendas construidas en la colonia Providencia en Zapopan, Jalisco por el Arquitecto Eliseo Van Aartsen, quien menciona que ha tardado 3 años en su proceso con obras públicas, y la solución fue utilizar los BTC en muros aparentes.

Por otro lado, existe una controversia entre los grupos de informantes, mientras que el grupo de sector privado, menciona que una regulación es necesaria con urgencia, el grupo de sector público menciona que el sistema burocrático mexicano funciona de acuerdo a las demandas económicas del mercado, es decir, como el sector público considera que no existe un mercado establecido para la producción y venta de BTC, consideran que no es viable una normativa para este material actualmente, afirman que el ideal sería realizar una propuesta de norma para que emerjan nuevos mercados, pero en la realidad no funciona así, debe de haber un sector interesado y establecido para que un proceso de inclusión de norma pueda ser exitoso en la etapa de cabildeo.

Los dos grupos mencionan que a comparación del ladrillo recocido, no es viable económicamente, el sector privado mencionó que, el costo por mano de obra y la constante capacitación es un concepto que encarece la producción del material, a pesar de utilizar tierra del terreno a construir, mientras que el sector público menciona que, actualmente, el ladrillo recocido tampoco se encuentra regulado, quiere decir que el costo por producción tiene exento el pago de impuestos y externalidades y al imponer primero una regulación para el BTC, provocaría el aumento del costo. Finalmente, con la información recabada por medio de las entrevistas se consideró que se debe de complementar esta investigación con la comprobación de las características mecánicas y físicas del material, que permitan desmitificar las teorías que impiden que sea un material regulado por la normatividad mexicana.

4.2 Hallazgos aprovechables.

Prueba de campo.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se utilizó un tipo de tierra encontrada en la localidad de Aticama, Nayarit, con la finalidad de evaluar si un proyecto con BTC puede ser viable en esta zona y tener datos más cercanos a la realidad en los resultados de los ensayos y el análisis de ciclo de vida.

Primero se cribó la tierra con mallas de diferente medida para poder observar la composición de la tierra.



Ilustración 18 Tierra cribada Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 20 se muestra la tierra después de haber sido segregada por su granulometría. Gracias a esta separación se pudo observar la cantidad de limos en volumen que la tierra contiene, en comparación con arcilla y grava

Prueba de botella

Esta prueba también permitió ver la composición de la tierra, en la parte de arriba se encuentra la materia orgánica, para seguir con la parte de abajo con limos, arcilla y hasta el fondo de la botella con gravas, esta prueba nos permitió observar que mucho de lo que se consideró grava al cribar la tierra en la prueba anterior, era en realidad arcilla que por encontrarse en estado húmedo no se cribó de la manera correcta.



Ilustración 19 Prueba de botella Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 21 se observa la segregación de la tierra después de haber sido removida con la botella.

Prueba de pastilla.

Con esta prueba representada en la ilustración 22, se pudo observar que la tierra por si sola se contrae y es poco resistente, ya que, al secar se partió.



Ilustración 20 Prueba de pastilla Fuente: Elaboración propia

Al realizar estas pruebas se tuvo una primera noción, que era una arcilla complicada de trabajar, así que se realizaron algunas pequeñas mezclas, estabilizando la tierra con arena de río y cal.

En este primer acercamiento los porcentajes de estabilizado se hicieron por volumen.

Mezcla	Arcilla		Arena		Cal		TOTAL	
	Masa (gr)	%	Masa (gr)	%	Masa (gr)	%	Masa (gr)	%
1	130	80.00	32.50	20.00	0.00	0.00	162.50	100.00
2	130	66.67	65.00	33.33	0.00	0.00	195.00	100.00
3	130	57.14	97.50	42.86	0.00	0.00	227.50	100.00
4	130	55.48	97.50	41.61	6.83	2.91	234.33	100.00
5	130	54.95	97.50	41.21	9.10	3.85	236.60	100.00

Tabla 16 Cantidad y porcentaje de materiales en mezclas

Como se puede ver en la tabla 16 se inició con un 20% de arena de río, hasta incrementar en un 42.86%, posterior a esta muestra se incrementó a las siguientes mezclas hasta un 3.85% de cal.

Se dejaron secar durante dos semanas para poder observar la retracción de cada una y ver cuál era más difícil de romper.

En la ilustración 23 se muestra el recipiente utilizado para medir el porcentaje de tierra en volumen para obtener estas primeras pruebas empíricas.



Ilustración 21 Vaso para pruebas de laboratorio en volumen. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 22 Muestras de tierra estabilizada con arena y cal. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 24 se puede observar que, conforme se incrementa el porcentaje de estabilizantes, se disminuye la retracción y el rompimiento. Las pastillas que no se rompieron con la presión de los dedos, fueron las que se estabilizaron con cal.

Ensayos de BTC

Se realizaron pruebas de resistencia con diferentes porcentajes de estabilizante en las mezclas, previo a analizar las diferentes normativas, estos resultados se encuentran agregados en el anexo 4

Como se mencionó en un capítulo anterior, el cemento portland es un material determinante para aumentar la resistencia y volver al material sumergible, así que fue incorporado a las mezclas de BTC que se realizaron para cumplir con los ensayos.

NMX-C-036 Resistencia a la compresión de bloques – Método de ensayo.

Después de curar durante 28 días los BTC, como se obliga en la norma, se realizaron ensayos a compresión a 3 probetas de 3 diferentes mezclas.

La mezcla que cumplió con la resistencia mínima requerida en la NMX-404 para mampostería estructural, fue la mezcla no. 1, misma que cumple con el requisito mínimo de la NMX-508 para bloques con cal.

# Mezcla	Base Seca Fracción Másica (%)									Tensión (kgf/cm ²)	Cumple la norma (S/N)
	Arena		Arcilla		Cemento		Cal		Total		
1	2.19	36%	3.17	52%	0.37	6%	0.37	6%	6.09	76.50	S
1	2.24	36%	3.23	52%	0.37	6%	0.37	6%	6.22	79.94	S
1	2.22	36%	3.20	52%	0.37	6%	0.37	6%	6.16	77.46	S
2	2.33	37%	3.34	53%	0.32	5%	0.32	5%	6.31	54.37	N
2	2.23	37%	3.19	53%	0.30	5%	0.30	5%	6.02	50.29	N
2	2.22	37%	3.18	53%	0.30	5%	0.30	5%	6.00	50.57	N
3	2.36	38%	3.35	54%	0.25	4%	0.25	4%	6.20	40.49	N
3	2.28	38%	3.24	54%	0.24	4%	0.24	4%	6.00	37.11	N
3	2.32	38%	3.29	54%	0.24	4%	0.24	4%	6.10	40.92	N

Tabla 17 Mezclas con ensayo a compresión. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla 17 la mezcla 2, de acuerdo con su porcentaje de estabilizante, logra cumplir la NMX 508 para BTC.

Se muestra en las siguientes figuras el comportamiento de los bloques durante el ensayo. En la figura 6 se encuentran los 3 especímenes de la muestra 1, y en la figura 7, se identifican los 3 especímenes de la mezcla 2 y mezcla 3 respectivamente.

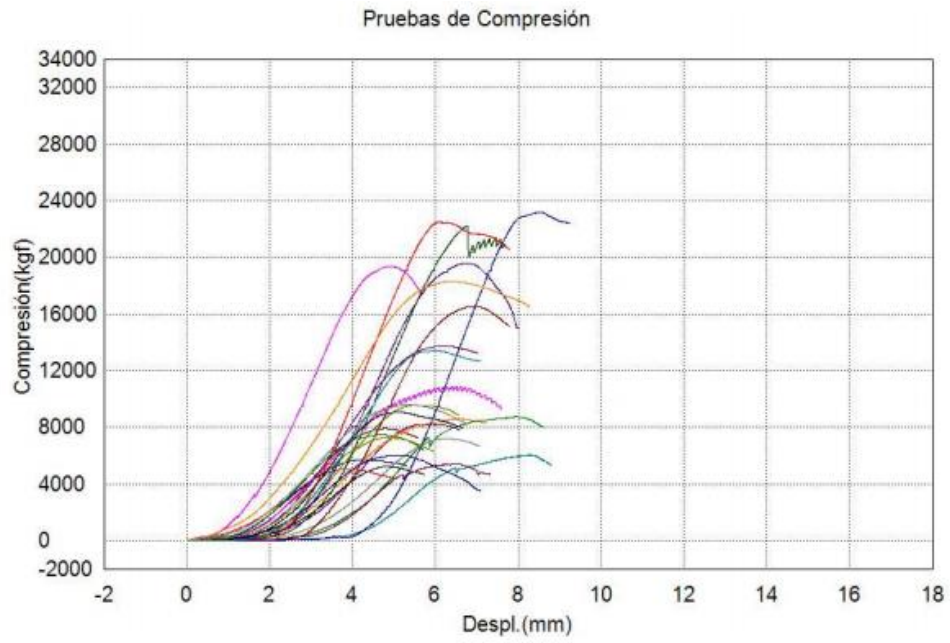


Figura 6 Ensayos con mezclas de BTC Fuente: Elaboración propia.

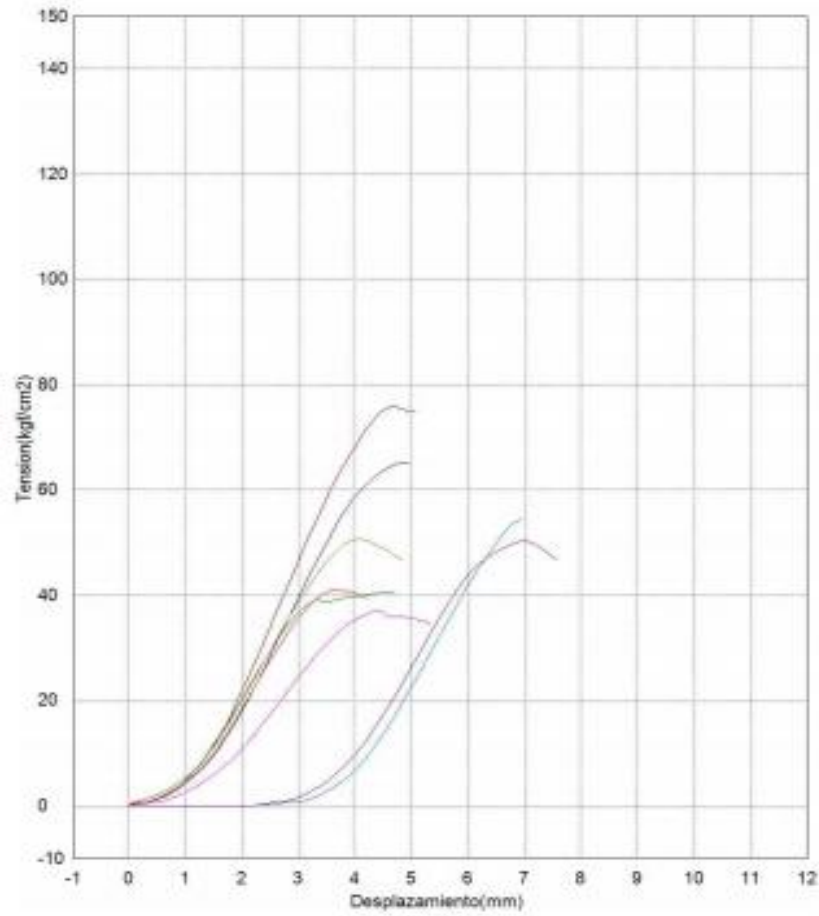


Figura 7 Gráfico de prueba a compresión con muestras 2 y 3.

En el anexo 1 se encontrarán el informe completo de todos los especímenes ensayados.

La falla común de los especímenes, fue la separación por caras, en las siguientes imágenes se muestra uno de los bloques que se probaron antes del ensayo y después.

La ilustración 25 muestra el proceso del ensayo a compresión.



Ilustración 23 BTC antes de ensayo Fuente: Elaboración propia.

La ilustración 26 muestra uno de los bloques después de haber sido probado, donde se puede observar la falla de separación de caras.



Ilustración 24 BTC con falla separación de caras Fuente: Elaboración propia

Análisis estadístico.

Con la media de resistencia a compresión de los especímenes ensayados, se realizó el siguiente análisis, que determinó la resistencia teórica con otros porcentajes de estabilizante.

Mediciones		
Tierra(%)	Estabilizante Cemento - Cal(%)	Rc
36	12	77.97
37	10	51.74
38	8	39.51

Tabla 18 Resistencia media de especímenes

Como se observa en la tabla 17, se sumó el porcentaje de cal y cemento, debido a que, en los especímenes realizados, el cemento y la cal se integraron a las diferentes mezclas en la misma proporción, con este porcentaje se pudo determinar la resistencia a compresión (Rc) teórica con otros porcentajes.

Este análisis se realizó hasta un 15% de estabilizante, por ser el máximo permitido en la NMX-508 para BTC.

M		9.615	Y		-39.744444
Tierra(%)	Estabilizante Cemento - Cal(%)	Rc teórico	Rc real	Diferencia	% Error
85	15	104.48			
84	14	94.87			
83	13	85.25			
82	12	75.64	77.97	2.331	3%
81	11	66.02			
80	10	56.41	51.74	4.662	8%
79	9	46.79			
78	8	37.18	39.51	2.331	6%
77	7	27.56			
76	6	17.95			

Tabla 19 Resistencia a compresión teórica y real.

En la tabla 19 como en la figura 8, se puede observar que la resistencia real, tuvo un margen de error de hasta 8%, pero, ya nos permite conocer qué porcentaje de estabilizante se podría usar de acuerdo con las necesidades de proyectos futuros.

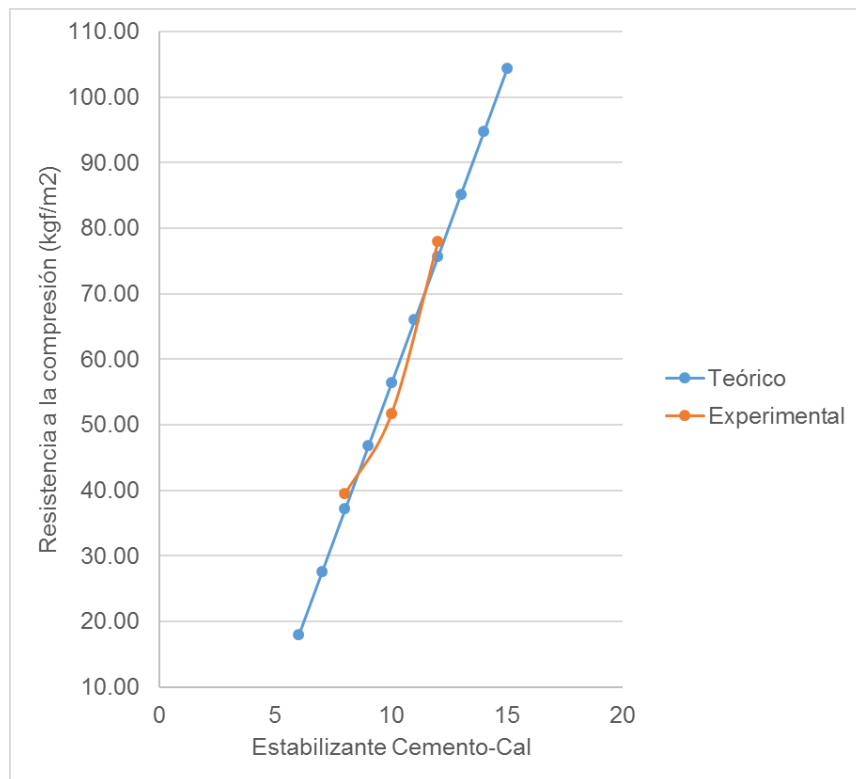


Figura 8 Gráfica de compresión real vs compresión teórica

NMX-C-464 Determinación de la resistencia a compresión diagonal y módulo de cortante de muretes, así como determinación de la resistencia a compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería de arcilla o de concreto.

Como ya se mencionó, para esta prueba se utilizó la mezcla con la que se consiguió mayor resistencia en los bloques.

Estos nuevos especímenes se dejaron curar durante 28 días, para obtener la resistencia del cemento portland.

En las ilustraciones 27 y 28 se muestran los muretes y pilas en el proceso de curado, que fueron ensayados para obtener los datos de esta normativa.



Ilustración 25 Especimen pila



Ilustración 26 Espécimen murete y pila

Ensayo de resistencia a compresión.

La ilustración 29 muestra uno de los muretes que fueron ensayados para poder obtener la resistencia por cortante.



Ilustración 27 Murete en prueba de compresión diagonal

De acuerdo con la formula $f_m = P / tb$

Se obtuvieron los siguientes datos:

Muro	Max carga (kgf)	Max. Desplante áreas (mm)	Max tiempo (seg)	Cortante (kg/cm2)
1	1429.32	4.71	57.9	1.6
2	1531.74	6.86	83.65	1.71
3	1282.99	4	49.4	1.44
Promedio				1.58

Tabla 20 Resultados compresión diagonal.

Como se observa en la tabla 20 el valor mínimo fue de 1.44 y el mayor de 1.71, esto nos arroja un promedio de 1.58 kg/cm², que de acuerdo con el requerimiento en la Normativa Técnica de Construcción de CDMX, donde el valor mínimo requerido es de 3 kg/cm², nos indica que no cumple con el mínimo requerido.

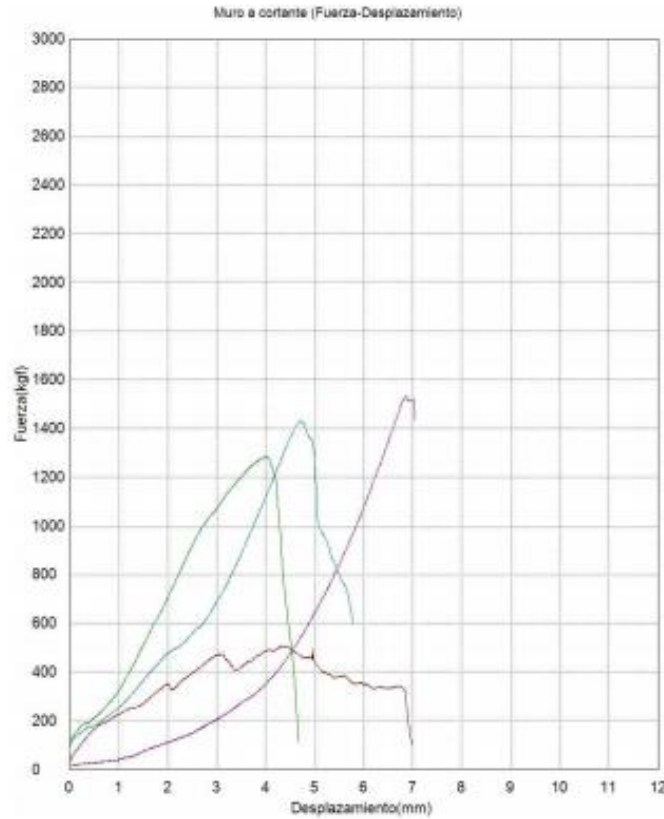


Figura 9 Comportamiento de murete en ensayo a compresión

En la figura 9 se observa el desplazamiento de los muretes y la fuerza aplicada durante el ensayo.



Ilustración 28 Falla de murete

Como se percibe en la ilustración 30 las fallas reportadas durante los ensayos se conocen, como se menciona en la norma 464, como falla de cortante o por adherencia en las juntas, esto significa, que el mortero ha sido el primero en no cumplir con las características necesarias para poder aprobar esta normativa.

NMX-037 Determinación de absorción total y absorción inicial de agua en bloques.

Resultados de absorción inicial (capilaridad)



Ilustración 29 Absorción inicial de agua. Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración 31 se representa el inicio de la prueba para la absorción inicial.

En la prueba para determinar la absorción inicial (capilaridad) se recabaron los siguientes datos:

$$\begin{aligned} C_b &= 100(M_1 - M_s) / (S\sqrt{t}) \\ C_b &= 100(6,592 - 6,291) / (420\sqrt{10}) \\ C_b &= 100(301) / 1,328.15 \\ C_b &= 30,100 / 1,328.15 \\ \mathbf{C_b} &= \mathbf{22.63 \text{ g/(cm}^2\text{min)}} \end{aligned}$$

Valor	Cantidad	Unidad
M	301	g
M1	6592	g
Ms	6291	g
S	420	cm ²
t	10	min

Tabla 21 Datos de capilaridad. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la tabla 21, se puede observar los datos arrojados durante el ensayo de capilaridad.

De acuerdo con lo establecido en la norma para BTC y para mampostería estructural, respecto al mínimo permitido en capilaridad para arcilla extruida, el resultado de este ensayo, no logra el valor máximo para muros expuestos de **5 g/min** y tampoco logra para muros interiores de **7.5 g/min**.

Absorción total en 24h.

La ilustración 30 muestra el principio del ensayo para prueba de absorción de agua durante 24 horas



Ilustración 30 BTC sumergido en agua para prueba de absorción

Para la determinación de la prueba de absorción total en porcentaje, se recabaron los siguientes datos:

$$A = (M_{sss} - M_s) / M_s \times 100$$

$$A = (7,585 - 6,291) / 6,291 \times 100$$

$$A = 1,294 / 629,100$$

$$A = 20.5 \%$$

La tabla 22 muestra los datos arrojados por el ensayo.

Valor	Cantidad	Unidad
Ms	6291	g
Msss	7585	g

Tabla 22 Datos absorción inicial

De acuerdo con la norma para BTC y mampostería estructural, este porcentaje resulta 1.5% más elevado del máximo permitido que es **19%**, así que, a pesar de no cumplir con este requisito, se encuentra en el límite del permitido.

Dentro de una normativa obligatoria, exigida por la SCT Secretaria de Comunicaciones y transportes, (SCT, 2002) se estipula que, los bloques pueden tener grados de calidad, y debido a esto, se determina el uso correcto de acuerdo con su calidad, se enlistan de la siguiente manera:

Tipo A: Muro para interior y exterior, su baja absorción permite su uso sin recubrimiento.

Tipo B: Apto para muro exterior e interior, se deben proteger de la intemperie mediante sellador o recubrimiento.

Tipo C: Apto para muros interiores.

De acuerdo con la resistencia del espécimen de este proyecto, el grado de calidad en el que se considera es de tipo B. Por lo tanto, de acuerdo con la gráfica publicada en dicha normativa, se estipula que este tipo de bloque tiene el % de absorción de agua en un 20%, quiere decir, que cumple con la norma, siempre y cuando se proteja de la intemperie.

NMX 460 Aislamiento térmico, Valor “R”

De acuerdo con esta norma, el factor de la resistencia térmica que se debe considerar en muros para la zona térmica 2 (en la que se encuentra el proyecto) es:

Zona térmica No.	Muros M2 K/W		
	Minima	Habitabilidad	Ahorro de energía
2	1.00	1.10	1.40

Tabla 23 Factor de resistencia.

La tabla 23 muestra el extracto de los valores requeridos para aprobar la prueba de aislamiento mínimo, en la zona de Nayarit. En este caso, se intentó conseguir el factor mínimo de 1

Con los datos mencionados en la metodología el diseño de muro de BTC con espesor de 30 cm fue:

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2.152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5.540
Surface resistance (m ² -K/W)	0.130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19.870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5.130
Surface resistance (m ² -K/W)	0.040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	1.870
R-Value (m²-K/W)	0.705
U-Value (W/m²-K)	1.419
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0.3250
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)	146.3100
Upper resistance limit (m ² -K/W)	0.705
Lower resistance limit (m ² -K/W)	0.705
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	1.870
R-Value (m ² -K/W)	0.705
U-Value (W/m²-K)	1.419

Tabla 24 Características técnicas del sistema constructivo BTC. Fuente: Design builder

Como se puede observar en la tabla 24, el valor “R” del muro de BTC es de **.705 m²-K/W**, el cual no cumple con el requisito mínimo para cumplir con dicha norma.

No obstante, se realizó también el diseño de muro de block de cemento. El cual arrojó la siguiente información:

Inner surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	2.152
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5.540
Surface resistance (m ² -K/W)	0.130
Outer surface	
Convective heat transfer coefficient (W/m ² -K)	19.870
Radiative heat transfer coefficient (W/m ² -K)	5.130
Surface resistance (m ² -K/W)	0.040
No Bridging	
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	9.818
R-Value (m ² -K/W)	0.272
U-Value (W/m²-K)	3.678
With Bridging (BS EN ISO 6946)	
Thickness (m)	0.1774
Km - Internal heat capacity (KJ/m ² -K)	184.8486
Upper resistance limit (m ² -K/W)	0.272
Lower resistance limit (m ² -K/W)	0.272
U-Value surface to surface (W/m ² -K)	9.818
R-Value (m ² -K/W)	0.272
U-Value (W/m²-K)	3.678

Tabla 25 Resultado de las características técnicas del muro de block de cemento. Fuente: Design Builder

En la tabla 25 se puede observar como el valor "R" del diseño del muro de block es aún peor que el BTC, a pesar de tener revoques en ambas caras.

En la figura 10 se hace una comparativa entre los factores requeridos, el factor obtenido por el btc y el block de cemento.

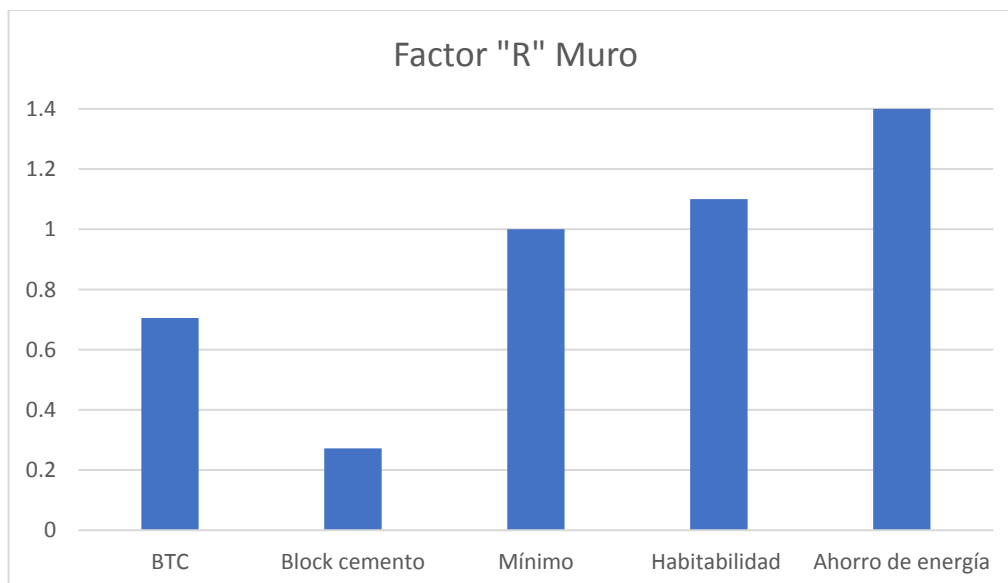


Figura 10 Comparativa de factor "R" en envolvente.

Si bien, el muro de BTC por si solo no alcanza el valor mínimo del factor “R”, representa una mejor opción que el muro de block, para que se pueda complementar con otro material y lograr el valor requerido por norma.

Finalmente, se realizó una simulación en un día caluroso y se puede apreciar que, aunque no cumple con la normativa, el diseño del muro de BTC permite una tener una temperatura más confortable en el interior que, en el exterior. A continuación, en la siguiente gráfica.

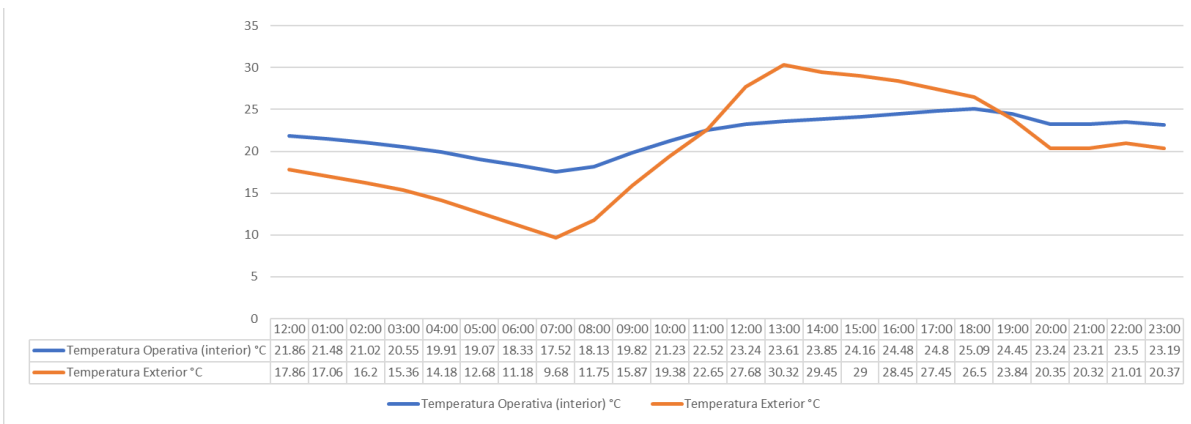


Figura 11 Análisis de temperatura en día caluroso.

Como se observa en la figura 11 , la temperatura interior (color azul) se mantiene en el rango de los 18° a las 6 de la mañana y hasta los 25° durante la tarde, por otro lado, la temperatura exterior durante la mañana oscila en los 11° , haciendo casi 7° de diferencia y durante la tarde alcanza hasta los 30° .

Análisis económico.

Se determinó el costo directo del BTC por pieza utilizando el costo de los materiales utilizados, a que fueron, arena de río, cemento y cal, la arcilla, que representa el mayor porcentaje del material no se le incorporó ningún costo, debido a, que es resultado del proceso de extracción para cimentación.

En la tabla 26 se muestra un resumen del costo directo para fabricar una tonelada de BTC.

	arena	cal	cemento	mano de obra	Costo total
Tonelada	\$ 45.47	\$ 124.14	\$ 178.58	179.83	\$ 528.02

Tabla 26 Costo directo materiales y mano de obra. Fuente: Elaboración propia.

Se determinó el costo por una tonelada de material, del cual, una tonelada equivale a 166 ladrillos, quiere decir que el precio por bloque se aproxima a los \$3.18 pesos.

En la tabla 27 se muestra la comparativa con el ladrillo cocido y block de lama, los resultados fueron los siguientes.

Precio x unidad	BTC	Ladrillo cocido	Block
	\$ 3.18	\$ 2.00	\$ 4.50

Tabla 27 Costo por unidad Fuente: Elaboración propia.

Como primera percepción el ladrillo es más económico que el BTC, pero, el concepto que genera mayor porcentaje en costo es la mano de obra, y en muchos contextos del país, el ladrillo cocido se produce de tal manera que los fabricantes no son remunerados con un salario digno.

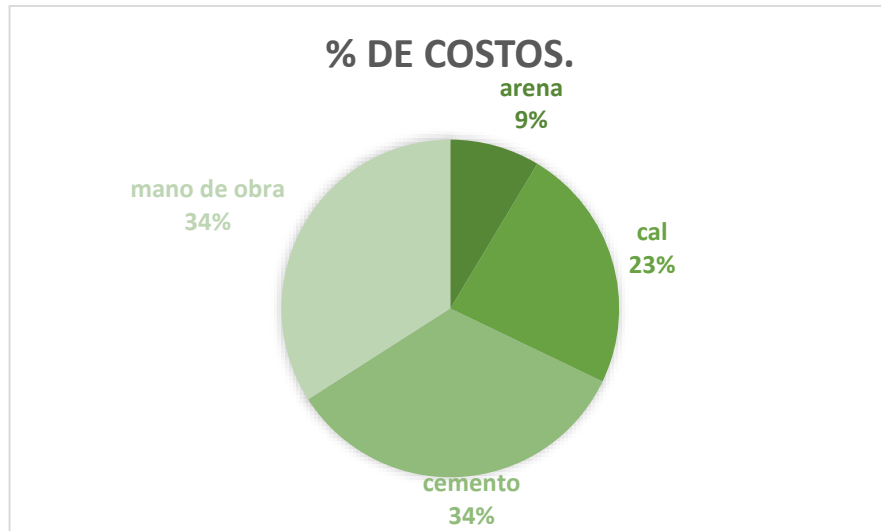


Figura 12 Porcentaje de costos. Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Ciclo de Vida del bloque de tierra compactado.

Unidad funcional

De acuerdo con las PCR, se consideró para el análisis una tonelada de material ya fabricado de BTC. Esto corresponde a 166 bloques de BTC con medidas, 29.5 x 14 x 11cm.

Objetivo del estudio.

Evaluar el impacto ambiental potencial de la unidad funcional para ladrillos de arcilla,

Reglas de corte.

Este estudio no tiene reglas de corte.

Información del BTC.

Los bloques de tierra compactada que se consideraron para este estudio, tienen una medida de 29.5 x 14 x 11, su peso promedio es de 6.00 kg y se realizaron con una prensa manual, con la finalidad de disminuir su posible impacto.

Se pretende que este tipo de bloques sean elaborados in-situ con la tierra residual generada en el proceso de cimentación.

En la ilustración 31 se observa el proceso de extracción de la tierra del lugar, mientras que en la ilustración 32 se muestra el proceso de producción de BTC, finalmente la ilustración 33 aparecen los BTC en proceso de curado.



Ilustración 31 Extracción de arcilla Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 32 Maquina para producción de BTC. Fuente Elaboración propia.



Ilustración 33 Producción de BTC para ensayos.

En la tabla 24 se muestran los materiales utilizados en una mezcla seca para el BTC, que fueron:

ARCILLA		ARENA		CAL		CEMENTO	
52%	520.00	36%	360.00	6%	60.00	6%	60.00

Tabla 24 Porcentaje de materiales. Fuente: Elaboración propia.

Para la producción de esta tonelada de material se necesitó de 100 L de agua potable.

A continuación, en la tabla 25 se muestra los m2 correspondientes a dos tipos de aparejo utilizados comúnmente en mampostería de BTC.

1 tonelada =	166	pzas	
APAREJO	Ladrillo/m2	unidad	M2/TONELADA
SOGA	31.5	pzas	5.27
TEZON	63	pzas	2.63

Tabla 25 M2 por aparejo Fuente; elaboración propia.

Límites del estudio.

Se realizó el estudio en dos etapas

1.Extracción de materia prima

En esta primera etapa se consideró el proceso de extracción de la arcilla, donde se utilizó una retroexcavadora

En segundo punto se realizó el cribado de arcilla de manera manual. Este proceso no se consideró dentro del acv en SIMAPRO, ya que no está generando un gasto de energía, pero es importante mencionarlo para conocer la cantidad de material que se necesita extraer en el paso anterior.

Para la arena, cal y cemento se rastreó su trayecto desde el lugar donde se encuentran los proveedores hasta el sitio a producir BTC. En la siguiente tabla se muestra los kilos transportados de cada material, para la producción de cada uno de los materiales. En este caso en particular, se encontró que el cemento realizó un recorrido mayor por ser enviado desde Guadalajara, Jalisco.

Etapa	#	Unidad de proceso	Descripción	Materia			Energía		Transporte			
				Material	Cantidad	Unidades	Maquinaria	Tipo de combustible	Rendimiento (km/L)	tkm	Rendimiento o 2 (km/L)	tkm2 (km/L)
Extracción de Materia prima	3.1	Distribución arena	Se compra en el pueblo aledaño Aticama (6.8km)	Arena	385.2	kg	Camión 6 toneladas año 2005	Diesel	4.14	5.24		
Extracción de Materia prima	3.2	Distribución cal	Se compra en el pueblo aledaño Aticama (6.8km)	Cal	64.2	kg	Camión 6 toneladas año 2005	Diesel	4.14	1.02		
Extracción de Materia prima	3.3	Distribución cemento	Los costales de cemento (50kg), se compra en Tepic (51.7km) El proveedor de Tepic compra en Guadalajara. (208km)	Cemento	64.2	kg	Camión Freightliner 2007 modelo M2 16 toneladas.	Diesel	2.1	10.34	1.8	52.6

Tabla 26 TKM de ACV Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 26 se calculó los TKM (kilómetros por tonelada) que pudieron ser rastreados de los materiales comprados en el supuesto que la producción de estos ladrillos se realizara en Aticama Nayarit. Para esto se necesitó saber los kilómetros recorridos, las toneladas transportadas de material y el tipo de vehículo, así como el tipo de combustible.

Producción

En esta segunda etapa se consideró:

- La molienda de arcilla,
- La mezcla de materiales en seco
- La incorporación de los 100L de agua
- La compresión en la prensa manual.

En esta etapa no se utilizó maquinaria para los diferentes procesos mencionados.

Diagrama de flujo de ACV

En la tabla 27 se describe el proceso de las dos etapas establecidas para este análisis de ciclo de vida

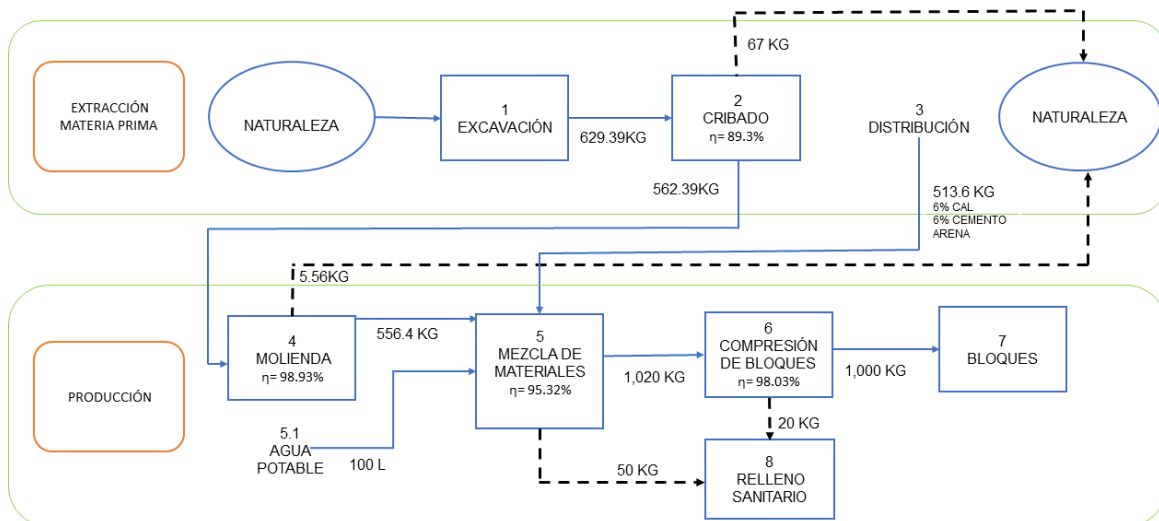


Tabla 27 Diagrama de producción y eficiencia. Fuente: Elaboración propia.

Diagrama de contribución.

A continuación, en la figura 13 se presenta el diagrama de contribución del ACV de BTC, donde se puede observar que el mayor impacto proviene de la distribución del cemento y el uso de cemento y cal.

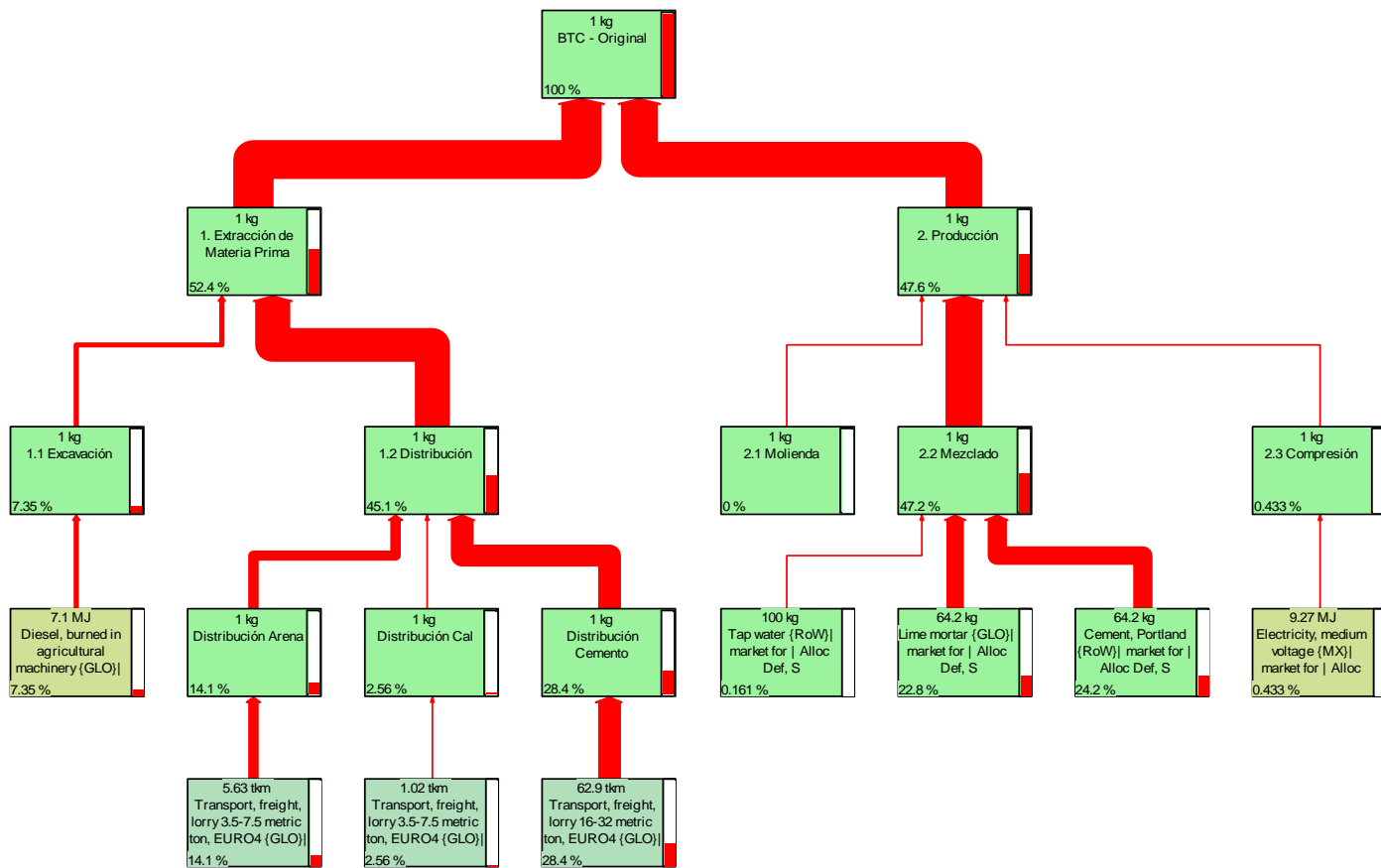


Figura 13 Diagrama de contribución. Fuente: SIMAPRO

Impactos ambientales potenciales.

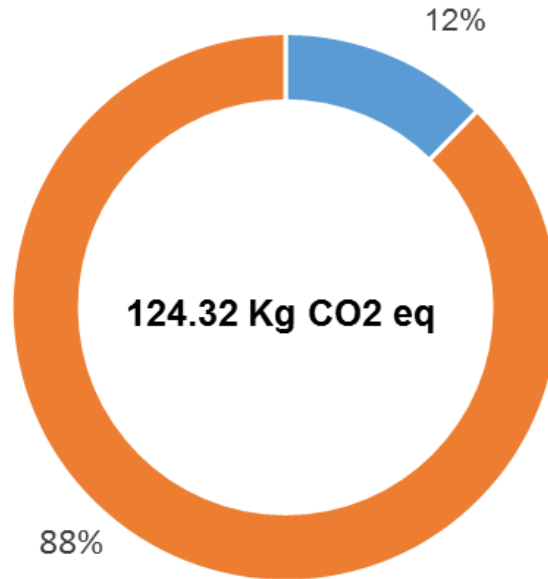
En la tabla 28, se muestra los diferentes impactos ambientales donde se puede observar que la categoría donde más se impacta es en la ecotoxicidad marina.

Categoría de impacto	Unidad	Total	1. Extracción de Materia Prima	2. Producción
Calentamiento global (GWP100a)	kg CO2 eq	124.32	15.32	109.01
Agotamiento abiotico	kg Sb eq	9.97E-05	5.22E-05	4.74E-05
Agotamiento abiotico (fossil fuels)	MJ	762.47	237.44	525.03
Agotamiento de capa de ozono (ODP)	kg CFC-11 eq	0.00	0.00	0.00
Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	16.80	5.25	11.55
Ecotoxicidad agua dulce	kg 1,4-DB eq	9.29	1.64	7.65
Ecotoxicidad Marina	kg 1,4-DB eq	36,679.49	8,398.40	28,281.10
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	0.16	0.02	0.14
Oxidación fotoquímica	kg C2H4 eq	0.01	0.00	0.01
Acidificación	kg SO2 eq	0.32	0.06	0.26
Eutrofización	kg PO4--- eq	0.08	0.01	0.06

Tabla 28 Impactos derivados de la producción de BTC Fuente: SIMAPRO

En la figura 14 se muestra brevemente que el mayor porcentaje de CO2 se debe a la producción del material (debido al uso del cemento), representado por un 88% y solo el 12% en la extracción a la materia prima, esto nos indica que a medida que se aumenten los insumos de cemento, cal u otro tipo de estabilizante la huella de carbono aumentará. Por esto es importante conocer la resistencia de la tierra, para estabilizar al mínimo posible la producción y cumpla con la sustentabilidad ambiental.

Calentamiento global



- 1. Extracción de Materia Prima
- 2. Producción

Figura 14 Porcentaje de emisiones por etapa. Fuente: Elaboración propia.

Este análisis fueron solo datos cercanos a la realidad, ya que hay procesos en los que se desconoce el impacto real en México, como el consumo de agua, o la producción de cal y se toma como referencia, datos de la Unión Europea.

Comparativa con otros ACV de ladrillos.

	CO2/Ton	Unidad	CO2 /m2	Unidad
BTC Nayarit	124.33	kg	47.27	kg
Ladrillo cerámico (España)	256	kg		
Ladrillo cocido (Perú Swisscontact)			38.8	kg
BTC Tamaulipas (Hidroxido de calcio 7%)			42.18	kg

Tabla 29 Comparativa de emisiones de ladrillos.

Como se puede observaren la tabla 29, el mayor impacto en la fabricación de BTC, con esta tipología, es el uso de cemento y la distribución de este. El uso de cemento y su distribución aporta al BTC el 52.6% de las emisiones generadas por una tonelada de material.

Es importante mencionar que el ACV del BTC elaborado en Tamaulipas (Roux Gutierrez, 2014) no menciona que tipo de aparejo se consideró para realizar el estudio y no se siguió ninguna PCR, así que resulta difícil la comparación.

Resumen de normas regulatorias de mampostería en México

Tipo	Codigo	Nombre	Cumple SI/NO
NORMATIVAS	NMX-C-508	Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal.	NO
	NMX-C-404	Bloques Tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural..	SI
	NMX-C-036	Resistencia a la compresión de bloques o ladrillos y tabicones y adoquines	SI
	NMX-C-464	Determinación de la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de pilas de mampostería	NO
	NMX-C-037	Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques	SI
	NMX-C-460	Aislamiento térmico- valor "R" para las envolventes de vivienda por zona térmica para la República	NO
ANÁLISIS ECONÓMICO (SUSTENTABILIDAD ECONÓMICA Y SOCIAL)			SI
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL)			SI

Tabla 30 Resumen de resultados de normativas Fuente: Elaboración propia.

También se realizó la tabla 30 para ver cuantas normativas son las que no se cumplen en su totalidad y son:

Normativa 508, debido a que sus requisitos dependen de otras normativas no cumplidas.

Normativa 464, debido a, que el factor mínimo requerido se toma de la Normativa Técnica de Construcción de CDMX, la cual es la más exigente del país, por considerarse como zona sísmica tipo 3.

Normativa 460, no logra cumplir con el factor mínimo requerido, pero mejora mucho la calidad del interior en comparación con el ladrillo de lama o el block de cemento.

Finalmente, se realizó una breve ficha descriptiva (tabla 31), con los conceptos más relevantes para que el BTC sea valido como un sistema constructivo estructural, considerando los factores sísmicos. Como actualmente no se considera la regionalización de los requerimientos técnicos por zonas sísmicas, decir que el material no cumple para ninguna zona del país es una respuesta ambigua.

La calidad del material dependerá de todos los factores estudiados en este proyecto y de las condiciones de cada proyecto en particular.

Norma	Concepto	Factor	cumple
508	Porcentaje de estabilizante	15% solo cal	no
404	Tamaño de bloques y fisuras	varios	si
306	Resistencia a compresión simple	60 kg/cm ²	si
464	Factor de resistencia por cortante (diagonal)	3 kg/cm ²	no
37	Capilaridad	19.50%	si
460	Aislamiento Térmico	1	no
Sísmico	sistema recomendado para zonas 1 y 2 sin refuerzo	Zonas sísmicas	si
	Sistema para zonas 3 (con refuerzos horizontales)	Zonas sísmicas	no

Tabla 31 Descripción de factores relevantes para la autorización del uso de BTC como sistema estructural.

¿Es el BTC un sistema constructivo viable para uso y autorización dentro de la normativa de construcción de mampostería en México?

Regresando a las preguntas iniciales del sector gubernamental, donde se afirmó que pare ser un material viable a la inclusión de la normativa debería de ser sustentable, económico, resistente y térmico, se puede afirmar que sí, si es un material válido para la inclusión dentro de las normativas.

Esto se puede afirmar porque se logró comprobar que:

1. Produce menos emisiones que un ladrillo cocido de producción inicial
2. Es más económico que un block de cemento y ayuda a mejorar la economía local
3. Se comprobó que, a pesar de tener cemento, logra mejorar el confort térmico dentro de la vivienda
4. El cumplimiento de la resistencia requerida dependerá de cada proyecto y diseño de la construcción.

Normativas internacionales

Se realizó una matriz (tabla 31) con las normativas de tierra que anteriormente se mencionaron, y que han resultado un éxito para el impulso de materiales de esta tipología.

Así que, con los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, y dicha matriz, se pudo identificar los vacíos o las contrariedades.

CATEGORÍA	TEMA	SUBTEMA	PROPOSITO	BTC NMX ONNCE	NMX MAMPOSTERIA MEXICO	NUEVA ZELANDA	PERÚ	FRANCIA (CRATERRE)	CHILE
Producción	Tierra	Granularidad	Describir los tipos de granularidad en la tierra y su buen uso en la construcción.						
	Tierra	Parametros de eficiencia	Diferenciar elementos que resten eficiencia como la materia orgánica						
	Aditivos	Cal.	Controlar el porcentaje de cal por unidad.						
	Aditivos	Cemento	Controlar el porcentaje de cemento por unidad						
	Aditivos	Incorporación	Control para asegurar la buena adición de los materiales estabilizantes						
	Curado	Dias de curado	Asegurar en los bloques un control adecuado de humedad para obtener buena resistencia.						
	Curado	Temperaturas	Controlar las temperaturas al que serán expuestos los bloques						
	Curado	Especificación con cemento	Realizar una buena práctica del estabilizante						
	Curado	Especificación con cal	Realizar una buena práctica del estabilizante						
	Agua	Calidad del agua	Obligar a utilizar agua potable						
	BTC	Clasificación	especificar tipos y formas de BTC y su posible uso						
Fisuras		Controlar fisuras graves en los bloques							
Construcción.	Mortero	Calidad	Puntualizar los materiales importantes para una mezcla manejable						
	Mortero	Clasificación	Tipos de mortero y su uso en obra						
	Mortero	Producción	Describir la importancia de realizar una mezcla con revolvedora						
	Mortero	Producción artesanal	Exigir la elaboración del mortero con 24 horas antes a la instalación						
	Mortero	Juntas	scribir el tamaño de las juntas mínimas y máximas						
	Mortero	Juntas	Mencionar que no es necesario incorporar juntas al sistema constructivo						
	Acabados	Recubrimientos	Mencionar recomendaciones de recubrimientos ideales al muro						
	Muros	calidad	Especificar ancho mínimo de muros de carga Cruzar información con detalles de						
	Muros	Instalaciones	instalaciones para no tener inconvenientes en obra						
	Muros	Resistencia	Especificaciones de muros para resistencia a la humedad, abrasión y agresión						

Tabla 32 Matriz normativas 1 Fuente: Elaboración propia.

CATEGORÍA	TEMA	SUBTEMA	PROPOSITO	BTC NMX ONNCE	NMX MAMPOSTERIA MEXICO	NUEVA ZELANDA	PERÚ	FRANCIA (CRATERRE)	CHILE
Conservación	Conservación patrimonial	Mantenimiento	Procesos para preservar, restaurar y construir patrimonios culturales.						
	Conservación patrimonial	Consolidación	Restituir condiciones de estabilidad estáticas y dinámicas de un inmueble que presente daños estructurales.						
Muestreo	BTC	Compresión	Obtener la resistencia a compresión simple por volumen						
	BTC	Compresión	Diferenciar el tipo de muestreo cuando se utiliza tierra "in-situ" o de un lugar aislado						
	BTC	Caída	Analizar en campo que los bloques sean resistentes a caídas para evitar futuros análisis en la construcción de la vivienda						
	BTC	Estratificación							
	Resistencia	Muro a tracción	Especificar la resistencia mínima a la tracción						
Sitio	Sismos	Segmentación	Separar por tipo las zonas sísmicas						
	Sismos	Sistemas Constructivos	Especificar la capacidad de construcción por el tipo de terreno						
	Vientos	Especificaciones	Puntualizar las precauciones que debe llevar por el tipo de vientos en la región.						
	Durabilidad								
	Carga por nieve								
	Aislación térmica								
	Protecciones								
Suelos	Cimentaciones	Especificar el tipo de cimentación por el tipo de suelo							

Tabla 33 Matriz normativas 2 Fuente: Elaboración propia.

Los vacíos que se identificaron en la norma para BTC en México son:

- A pesar de tener una norma para BTC en México, el documento no expresa o define el tipo de granulometría o tipo de tierra permitida para la producción de BTC
- No se define si es permisible el uso de cemento en los bloques.
- No se especifica los materiales imprescindibles para una construcción resistente.
- No se encuentra definido la producción de mortero, en todo caso, se pide que se realice igual que la mampostería tradicional.
- No se especifica el ancho mínimo para muros de carga.
- No se definen los recubrimientos del muro que ayudan a la mejora del material.

- A pesar de ser un país que culturalmente construye con tierra, no existe una reglamentación que indique como se pueden preservar los inmuebles con materiales de este tipo.
- No se encuentra separado por zonas sísmicas para los requerimientos del material y las normas obligatorias, son regidas por la necesidad estructural de Ciudad de México, que se encuentra en la zona sísmica más desfavorable, y esto provoca, que sea muy difícil que el material cumpla con todas las demandas normativas.
- Se necesita especificar como utilizar el sistema constructivo para las cargas por viento.
- Se requiere de describir el tipo de cimentación por el tipo de suelo.
- No es del conocimiento común el diseño de las instalaciones, que son un factor importante para la durabilidad del material.

Conclusiones

México tiene la posibilidad en ser uno de los países con normativa para construcciones con tierra, ya que es un país que tiene este tipo de sistemas como parte de la cultura de la construcción.

Se estipuló desde la descripción del problema, que la normativa para BTC, podría ser contradictoria, y con base en los resultados obtenidos en los diferentes ensayos, se puede comprobar que, el intentar cumplir con las normas para mampostería estructural, provoca que el material se encarezca y se aumente considerablemente las emisiones generadas por producción y distribución del material.

Es crucial que, para una normativa de esta índole se regionalice con base a las zonas sísmicas del país y se establezca un diseño de mamposteo para cada zona, con la finalidad de adecuar las necesidades a cada tipo de suelo y dejar de encarecer el producto cuando no es necesario.

Se debe entender que el proceso de construcción de BTC, es similar al proceso con ladrillo de lama o block, pero no es igual, por lo tanto, se debe de respetar el proceso de construcción para poder garantizar la durabilidad de construcciones con esta tipología.

También, se debe definir en qué medida es permisible el uso del cemento en este tipo de material, siempre y cuando las características térmicas no se pierdan.

Se debe obligar a que los profesionistas que utilicen este tipo de sistemas constructivos, lo hagan de forma adecuada, si que el diseño se interponga a la resistencia estructural de la mampostería.

A pesar de, no pasar la normativa de la envolvente, se pudo comprobar, que el material es de gran ayuda para el confort térmico, en una determinada zona térmica del país, empero, para zonas térmicas con temperaturas extremas, resulta ineficiente.

A pesar de la creencia de ser un material más costoso, se pudo comprobar que el material, llega a ser competitivo con el ladrillo cocido y el block de cemento, pero, se tiene que hacer hincapié en la importancia de considerar el costo de la mano de obra, y el costo de la capacitación de personal.

Gracias al estudio de impacto ambiental, se pudo obviar que el uso del cemento es el que más emisiones genera, cotejando la información con la resistencia del material, se puede determinar en qué momentos es viable disminuir el porcentaje de cemento en la mezcla.

Se pudo observar que cada país brindó una solución de acuerdo con su contexto. Un gran vacío que existe en la ley mexicana o incongruencia, es que, los requerimientos

técnicos exigidos son los mismos que se exigen a los ladrillos de cemento o arcilla cocida y esto provoca que el BTC se encarezca.

Se recomienda para futuras investigaciones continuar con pruebas para mortero y poder mejorar la resistencia para el murete.

Referencias

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2017). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. Obtenido de <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
- A.C., S. M. (2002). *Estudio de las propiedades físicas y mecánicas del tabique rojo recocido, utilizado en la construcción del municipio de Queretaro*. Puebla.
- Barbeta Solá, G. (2002). *Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI*. Barcelona: Scola Técnica Superior d' Arquitectura de Barcelona.
- Brown, L. (2011). *El mundo al borde del abismo, Cómo evitar el declive ecológico y el colapso de la economía: Ensayo ecológico y económico*. Bogotá: ECOE Centro de Estudios para el Desarrollo Sostenible .
- Cardona, O. (2003). Necesidad de Repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. "Una crítica y una revisión necesaria para la gestión". *Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina*.
- CENAPRED. (2003). *EL SISMO DE TECOMÁN, COLIMA DEL 21 DE ENERO DE 2003*. Tecomán.
- Centro de Investigación Habitat y Energía. (2006). *Construcción con tierra*. Buenos Aires, Argentina: Instituto de Arte Americano e Investigaciones Esteticas.
- CFE. (2008). *Regionalización sísmica de la República Mexicana*. México.
- Cohen, M. A. (2005). *Democracia y desafío medioambiental en México: Riesgos, retos y opciones en la nueva Era de la globalización*. México: Pomares.
- Colegio de Ingenieros de Chile A.G. (12 de 05 de 2014). *Colegio de Ingenieros de Chile A.G*. Obtenido de <https://www.ingenieros.cl/normativa-nch3332-establece-detalles-importantes-para-la-proteccion-patrimonial/>
- CONAVI. (2017). *Guía para la Verificación de Criterios Básicos de Habitabilidad*. México: SEDATU.
- CONAVI. (05 de 2017). *Guía para la verificación de criterios básicos de habitabilidad para la modalidad de autoproducción*. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/219492/Gui_a_para_verificacio_n_de_criterios.pdf
- CONAVI. (2019). *Reglas de Operación del Programa de Vivienda Social para el ejercicio fiscal 2019*. Ciudad de México: SEDATU.
- CONAVI, SEMARNAT. (2008). *Desarrollo habitacional sustentable ante el cambio climático*. México.
- CRATerre-EAG. (1995). *Blocs de terre comprimée* . Francia: CRATerre-EAG.
- EAG-CRATerre et al. (1989). *Traité de construction en terre*. Marseille: Parentheses.
- EcoHabitar. (2013). Norma UNE de Bloque de Tierra Comprimida. *Ecohabitar*, 1-2.
- Edict of government. (1998). *Nzs 4298 Materials and workmanship for earth buildings*. Wellington: Standars New Zealand.
- Flores Corona, L. (2015). *Normas NMX para estructuras de mampostería*. Ciudad de México: Cenapred.
- Georgia College. (15 de 11 de 2016). *Georgian College*. Obtenido de <https://www.georgiancollege.ca/uncategorized/ron-sky/>
- Guerrero, L. F. (2007). Hacia la recuperación de una cultura constructiva. *Revista Apuntes*, 182-201.

- Guerrero, L. F. (2011). *Ventajas constructivas del uso de tierra comprimida y estabilizada con cal en México*. Colima: PALAPA.
- Guillaud, H. e. (1995). *Blocs de terre comprimée Volume II. Manuel de conception et de construction*. Grenoble: CRATerre-EAG.
- Hauschild, M. Z. (2018). *Life Cycle Assessment. Theory and practice*. Dinamarca: Springer.
- Houben, H. e. (1989). *Traité de construcción en terre*. Grenoble: Parenthèses.
- Juarez, L. A. (2010). Ventajas de reforzamiento de muro de bloques de tierra compactados (BTC), como opción para el rescate de viviendas rurales. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 8.
- Lewis, M. (2016). Construcción con adobe siglo XXI. *Real Estate. Market & Lifestyle*.
- López Morales, F. J. (1988). *Arquitectura vernácula en México*. México: Trillas.
- Mazarrón, I. C. (2011). Las normativas de construcción con tierra en el mundo. *Consejo superior de investigaciones científicas*, 11.
- Mestre Martí, M. (2011). La llegada de la modernidad a la ciudad de Colima. *Bitácora Arquitectura, UNAM*, 1-8.
- Ministerio de vivienda construcción y saneamiento. (2017). *Norma e.080 Diseño y construcción con tierra reforzada*. Perú: El Peruano.
- Minke, G. (1994). *Manual de construcción con tierra. la tierra como material de construcción y sus aplicaciones en la arquitectura actual*. Montevideo: Nordan-Comunidad.
- New Zealand edict of government. (1998). *Nzs 4297 Engineering design of earth buildings*. Wellington: Standars New Zealand.
- New Zealand Edict of government. (1998). *Nzs 4299 Earth buildings not requiring specific design*. Wellington: Standars New Zealand.
- Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructura de mampostería. (2015)., (pág. 50). Ciudad de México.
- Nuevo diario de Santiago del Estero. (19 de 02 de 2017). *nuevodiarioweb.com.ar*. Obtenido de <http://www.nuevodiarioweb.com.ar/noticias/2017/02/19/76599-se-aprobo-en-argentina-la-construccion-de-casas-de-adobe>
- Ochoa, E. (1993). *Manual de producción de bloc de tierra compactada*. México.
- ONNCCE. (2012). *Industria de la construcción - Mampostería - Bloques, Tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo*. CDMX: ONNCCE.
- ONNCE Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (2012). *404 Industria de la construcción- Mampostería-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural, especificaciones y métodos de ensayo*. Ciudad de México: Diario oficial de la federación.
- ONU. (1987). *Bruntland report*. New York.
- Ordoñez Grajales, M. (agosto de 2016). *Comunal taller*. Obtenido de <https://www.comunaltaller.com/vivienda-rural-ejercicio-02>
- Organismo Nacional de Normalización y certificación de la construcción y edificación, S. C. (2016). *Industria de la construcción, Bloques de tierra comprimida estabilizados con cal. Especificaciones y metodos de ensayo*. México: ONNCCE, S.C.
- Roux Gutierrez, R. e. (2014). *BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA, SU RETARDO TERMICO E IMPACTO*. Tamaulipas.

- Roux Gutierrez, R. S. (2010). *Los bloques de tierra comprimida en zonas húmedas*. México: PyV.
- Roux Gutierrez, R. S. (2014). *Bloques de tierra comprimida, su retardo térmico e impacto ambiental*. Coahuila, México: Universidad Autónoma de Coahuila.
- Roux, R. S., & Espuna, J. A. (2015). La arquitectura de tierra en México. *Research Gate*, 11.
- Roux, R., & Espuna, J. A. (2012). *Bloques de tierra comprimida adicionados con fibras naturales*. Tamaulipas: Plaza y Valdés.
- Sadegui, M. (17 de 07 de 2017). *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/317630653_Optimization_of_Wind_Tower_Cooling_Performance_A_Wind_Tunnel_Study_of_Indoor_Air_Movement_and_Thermal_Comfort
- Samy, O. (2015). Caracterización de arenas pumíticas del área metropolitana de Guadalajara para su uso en muros de tierra compactada. Tlaquepaque, Jalisco, México.
- SCT. (2002). *Características de los materiales, Materiales para estructuras*. CDMX: SCT.
- Sociedad Hipotecaria Federal . (2017). *Demanda de vivienda 2017*. Mexico: DSDN.
- Standars New Zealand . (2011). *Nzs 3604 Timber-framed buildings*.
- Tetreault, D. (2008). *Escuelas de pensamiento ecológico en las ciencias sociales*. Guadalajara: UdeG.
- The world watch institute. (2013). Beyond Sustainable. En L. & Starke, *Estate of the world. Is sustainable still possible* (pág. 464). Londres: Island Press.
- United Nations Centre for Human Settlements (habitat). (1985). *A compendium of information on selected, low-cost building materials*. Nairobi: UNCFHS.
- Zobin, V. M. (2010). *Estudio del comportamiento de la vivienda en la zona occidental de México debido al terremoto 21 de Enero 2003*. Colima, col: CONAVI-CONACYT.
- NAMA, C. S. (1 de Noviembre de 2013). Guías de buenas prácticas para la rehabilitación paso a paso para prototipos de vivienda existente conforme al diseño técnico de la NAMA de vivienda existente para los climas semifrío y templado, parte 2.

Anexo 1.

Tabla de pruebas a compresión.

Compresión de BTC

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	20190426 btc compresion simple.txt	Nombre de metodo de ensayo	Compresion_Area.xml
Fecha de informe	26/04/2019	Fecha de ensayo	26/04/2019
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	5mm/min	Forma	Area
N°de partidas:	1	N°de muestras:	27

Nombre Parametros Unidad	Max_Compresión Calc. at Entire Areas kgf	Max_Tension Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max_Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm
Pieza _1	5025.29	17.3285	3.91000
Pieza _2	7907.58	27.2675	4.78400
Pieza _3	8208.40	28.3048	5.89200
Pieza _4	8750.12	30.1728	7.99000
Pieza _5	5679.18	19.5834	4.21400
Pieza _6	9564.30	32.9804	5.47000
Pieza _7	10870.2	37.4834	6.52000
Pieza _8	7167.33	24.7149	6.31800
Pieza _9	8601.31	29.6597	6.57600
Pieza _10	5213.30	17.9769	4.83200
Pieza _11	6030.98	20.7965	8.28000
Pieza _12	5394.62	18.6021	6.48800
Pieza _13	19584.9	67.5342	6.75400
Pieza _14	22185.2	76.9007	6.78600
Pieza _15	23182.6	79.9400	8.55200
Pieza _16	22464.0	77.4622	6.13800
Pieza _17	16515.6	56.9503	6.93000
Pieza _18	13730.5	47.3465	6.23600
Pieza _19	7472.29	25.7665	4.89200
Pieza _20	6007.40	20.7152	5.13000
Pieza _21	7274.72	25.0852	4.82800
Pieza _22	19334.8	66.6716	4.86000
Pieza _23	9584.06	33.0485	5.38400
Pieza _24	18308.4	63.1323	6.37800
Pieza _25	9055.40	31.2255	5.11800
Pieza _26	13409.3	46.2389	6.03600
Media	11404.7	39.3265	5.96523

Nombre Parametros Unidad	Max_Carga Calc. at Entire Areas kgf	Max_Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max_Despl Calc. at Entire Areas mm
1 - 1	22456.1	54.3730	6.93400
1 _ 2	31337.2	75.8769	4.68800
1 _ 3	20773.5	50.2991	6.93600
1 _ 4	16722.7	40.4908	4.69400
1 _ 5	26925.3	65.1944	4.81800
1 _ 6	20886.7	50.5730	4.07000
1 _ 7	15327.0	37.1113	4.44400
1 _ 8	16902.4	40.9260	3.69800
Media	21416.4	51.8556	5.03525