

UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA
UNIDAD ACADÉMICA DE SAN LUIS RÍO COLORADO
MAESTRA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLES



**“DISEÑO DE UNA MEZCLA CEMENTO-TIERRA-CELULOSA DE
PAPEL RECICLADO PARA SU UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIA
DE LA CONSTRUCCIÓN”**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLE**

PRESENTA:

ERICKA MARÍA MEZA BURBOA

SAN LUIS RÍO COLORADO, SONORA.

NOVIEMBRE DE 2018



UNIVERSIDAD ESTATAL DE SONORA

UNIDAD ACADÉMICA SAN LUIS RÍO COLORADO

MAESTRIA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BIOSUSTENTABLE

TESIS

**“DISEÑO DE UNA MEZCLA CEMENTO-TIERRA-CELULOSA DE PAPEL
RECICLADO PARA SU UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIA DE LA
CONSTRUCCIÓN”**

COMITÉ REVISOR

Presidente

Dr. Jesús Arturo Sol Uribe
Director

Secretario

Dr. Noé Ortiz Uribe
Co-director

Vocal

MC. Pedro Cruz Camargo
Vocal

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de la presente investigación fue un esfuerzo conjunto directa o indirectamente en donde participaron muchas personas e instituciones, leyendo corrigiendo, opinando, teniéndome paciencia, dándome ánimo y acompañándome en los momentos difíciles y felices, por lo tanto, quiero expresar mi gratitud a quienes me han apoyado durante estos años de maestría:

- ❖ A Dios por ayudarme a soportar los momentos difíciles.
- ❖ A mi familia porque siempre han apoyado y valorado en todo este proceso.
- ❖ A la Revista Noroeste por el apoyo y comprensión que me mostraron durante el curso de esta investigación.
- ❖ A CONACYT por el apoyo económico durante toda la maestría.
- ❖ Al Dr. Jesús Arturo Sol Uribe quien fue mi Director de Tesis, por su apoyo, paciencia y guía durante esta investigación.
- ❖ A mi Co-Director de Tesis, Dr. Dr. Noé Ortiz Uribe por su apoyo, guía y aportaciones para la realización de esta investigación.
- ❖ Al Ing. Manuel Valenzuela por su apoyo, paciencia, contribuciones especiales y amistad por el que esta investigación se pudo desarrollar.
- ❖ A los maestros Dr. Rafael Jordán Hernández, Dr. Ricardo Salomón y Mtra. Adriana Pérez Lara por el interés, apoyo y revisiones para la realización de esta investigación.
- ❖ A L.E. María Jesús Reyes Ortiz e Ing. Zenen Vázquez Méndez por prestarnos las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Civil del Instituto Superior de Puerto Peñasco.
- ❖ Al Dr. Héctor E. Campbell del Laboratorio de Sistemas Térmicos y Eléctricos de UABC Campus Mexicali, por su contribución en la realización del estudio de conductividad térmica, revisiones, explicaciones y consejos sobre este proyecto.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todos aquellos que me apoyaron para culminar esta maestría.

ÍNDICE

RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
Objetivo general.....	22
Objetivos específicos	22
Justificación	22
Hipótesis	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 Conceptos generales	25
2.1.1 Estructura	25
2.1.2 Muro	25
2.1.3 Mampostería.....	25
2.1.4 Tipos de muros en la mampostería	25
2.1.5 Mortero	27
2.1.6 Agregados	27
2.2 Aglomerantes en la construcción	27
2.2.1 Fraguado	30
2.2.2 Curado.....	30
2.3 Aspectos generales involucrados en la asilacion termica de una vivienda ..	32
2.3.1 Confort térmico	32
2.3.2 Energía	33
2.3.3 Transmisión de calor	33
2.3.4 Modos de transmisión del calor	34

2.3.5 Ahorro energético	35
2.4 Materia prima	35
2.4.1 Cemento	35
2.4.2 Arena	37
2.4.3 Celulosa.....	38
2.4.4 Fabricación de pulpa de celulosa	38
2.4.5 Reciclado del papel	40
2.5 La industria del ladrillo	40
2.5.1 El ladrillo en la antigüedad.....	41
2.6 Ladrillo tradicional.....	42
2.6.1 Proceso de elaboración del ladrillo.....	42
2.6. La industria del bloque de concreto	49
2.6.1 Elaboración de bloques de concreto.....	50
2.7 Características de los materiales usados en la mampostería.....	53
2.7.1 Absorción total de agua	53
2.7.2 Conductividad térmica	53
2.7.3 Granulometría.....	54
2.7.4 Densidad aparente	54
2.7.5 Resistencia a la compresión.....	55
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	56
3.1 Preparación de la materia prima	57
3.1.1 Cemento	57
3.1.2 Celulosa reciclada	57
3.1.3 Humedad de la tierra y arena	58

3.1.4 Densidad aparente	59
3.1.5 Granulometría de tierra y arena.....	60
3.2 Diseño y elaboración de las muestras	61
3.3 Elaboración de muestras para prueba de resistencia a la compresión, absorción de agua total en 24 horas, densidad y conductividad térmica....	63
3.3.1 Curado de las muestras.....	66
3.4 Estudios realizados a las muestras.....	67
3.4.1 Resistencia a la compresión y densidad.....	67
3.4.2. Absorción total de agua en 24 horas de las muestras	68
3.4.3 Conductividad térmica	69
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	71
4.1 Densidad aparente.....	71
4.2 Humedad de arena y tierra	72
4.3 Prueba de granulometría	73
4.3 Prueba de resistencia a la compresión	75
4.4 Absorción total de agua en 24 horas de las muestras	82
4.5 Conductividad térmica	86
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mampostería confinada	26
Figura 2. Mampostería simple.....	27
Figura 3. Las partes que componen al ladrillo sólido.	40
Figura 4. Barda realizada con ladrillo cocido en San Luis Río Colorado.....	41
Figura 5. Ladrillo fabricado en la localidad de San Luis Río Colorado	42
Figura 6. Excavación para la extracción de la arcilla en ejido la Grullita.....	42
Figura 7. Barro utilizado en la elaboración de ladrillos cocidos en la Ciudad de San Luis Río Colorado.....	43
Figura 8. Estiércol de vaca utilizado en la mezcla para la elaboración de ladrillos	44
Figura 9. Amasado la mezcla para la elaboración de ladrillos	45
Figura 10. Rejilla sin fondo de madera utilizada en el moldeo de los ladrillos solidos	46
Figura 11. Ladrillos secándose en la intemperie antes de cocerse.....	47
Figura 12. Moldeo manual del ladrillo por medio de rejilla de madera	47
Figura 13. Mampuestos apilados esperando para ser cocidos	48
Figura 14. Horno de túnel para la cocción de ladrillos.	48
Figura 15. Materiales utilizados para la cocción del ladrillo	49
Figura 16. Mezcladora de eje horizontal utilizado en la producción de bloques, concreto, etc.....	51
Figura 17. Maquinaria utilizada en la producción de bloques a) Tolva pesadora b) Maquina bloquera.....	52
Figura 18. Construcción con bloques de concreto	52
Figura 19. Formula de Ley de Fourier.....	53

Figura 20. Esquema de metodología	56
Figura 21. Moldes para las muestras cilíndricas, a) Moldes cilíndricos, b) Cilindros posicionados para ponerse en la prensa, c) Prensa ejerciendo presión al molde.....	64
Figura 22. Mezcla batida con la pala.....	64
Figura 23. Mezcla batida taladro y batidora de pintura	64
Figura 24. Elaboración de los bloques con la bloquera y la prensa	66
Figura 25. Cámara de fraguado de madera	67
Figura 26. Ejerciendo presión en una muestra con la prensa del Laboratorio de Ing. Civil del Instituto Tecnológico Superior de Puerto Peñasco (ITSP)......	68
Figura 27. Algunas muestras cilíndricas	76
Figura 28. Relación del contenido de celulosa en las muestras de la primera etapa respecto a la resistencia a la compresión: a) Tierra prensadas a 2 toneladas, b) Tierra prensadas a 4 toneladas, c) Arena prensadas a 2 toneladas, d) Arena prensadas a 4 toneladas.	77
Figura 29. Relación del contenido de celulosa en las muestras con tierra de la segunda etapa prensadas a 2 toneladas respecto a la resistencia a la compresión	80
Figura 30. Relación del contenido de celulosa en las muestras con tierra prensadas a 2 toneladas de la tercera etapa respecto a la resistencia a la compresión: a) Resultados de bloque hueco, b) Resultados de cilindros	81
Figura 31. Realización de la prueba de absorción de agua total en 24 horas de bloques huecos y cilindros.....	82
Figura 32. Relación del contenido de celulosa en las muestras respecto a la absorción total de agua en 24 horas: a) Tierra prensada a 2 toneladas, b) Tierra prensadas a 4 toneladas	83

Figura 33. Relación del contenido de celulosa en los huecos con cemento CPC 30R respecto a la absorción total de agua en 24 horas	84
Figura 34. Bloques huecos.....	85
Figura 35. Relación del contenido de celulosa en muestras con cemento CPC 40 respecto a la absorción total de agua en 24 horas. a) Bloques huecos b) Cilindros.....	85
Figura 36. Algunas muestras utilizadas para la prueba de conductividad térmica	86
Figura 37. Conductividad térmica de muestras de la segunda etapa y demás materiales usados en la industria de la construcción	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clases resistentes de los cementos Portland.....	29
Cuadro 2. Especificaciones mecánicas y físicas del Cemento.....	35
Cuadro 3. Dosificación de un saco de cemento cpc 30R.....	36
Cuadro 4. Clasificación de suelos SUCS	61
Cuadro 5. Dosificaciones y repeticiones de las muestras con arena y tierra	63
Cuadro 6 Densidad aparente de tierra y arena	71
Cuadro 7. Clasificación del agregado	71
Cuadro 8. Densidad en kg/m ³ de las muestras de todas las etapas	72
Cuadro 9. Porcentaje de humedad de los agregados usados	73
Cuadro 10. Granulometría de la arena.....	74
Cuadro 11. Granulometría de la tierra.....	75
Cuadro 12. Resistencia a la compresión que debe tener la mampostería no estructural según la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 industria de la construcción. Mampostería –bloques, tabiques o mampuestos y tabicones para uso no estructural –Especificaciones y métodos de ensayo	78
Cuadro 13. Resistencia a la compresión que deben tener la mampostería estructural según la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 Industria de la construcción – Bloques, tabiques o mampuestos y tabicones para uso estructural– Especificaciones y métodos de prueba	79
Cuadro 14. Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 Horas.....	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Materia prima utilizada para las muestras, a) Celulosa reciclada,	102
Anexo 2. Bloquera con molde para las muestras de la prueba de conductividad térmica.	103
Anexo 3. Ladrillos huecos y cilindros en la cámara de fraguado.....	103
Anexo 4. Muestras de tierra y arena colocadas en un horno para secarse.	104
Anexo 5. Bloques huecos	104
Anexo 6. Muestras colocadas en el horno para secarse.....	105
Anexo 7. Realizando muestras en la máquina bloquera.....	105
Anexo 8. Muestras cilíndricas en el horno de la universidad.....	106

RESUMEN

El proceso de urbanización ha motivado al ser humano a extenderse a regiones áridas y semiáridas enfrentando condiciones climatológicas extremas, llevando consigo a la búsqueda de estrategias para la adaptación de los espacios de hábitat confortables con un ahorro energético. Además, la problemática de contaminación que sufre el medio ambiente por la generación de basura, procesos de producción de diversos productos, entre otros contaminantes, genera la preocupación o el interés por dar soluciones mediante el uso de materiales de construcción reciclados y de bajo costo. Se llevó a cabo la evaluación del uso de la celulosa obtenida del papel periódico reciclado mecánicamente para, realizar mampuestos (bloques, ladrillos, etc.). El presente estudio utilizó el diseño de dosificaciones fijas (arena, tierra, cemento, agua) con tres diferentes porcentajes de celulosa (5, 10 y 15%), prensadas a dos diferentes presiones. Las variables estudiadas fueron: resistencia a la compresión, absorción de agua total en 24 horas, densidad y resistencia térmica. Los mejores resultados se lograron al utilizar la mezcla de tierra con 15% y 10% de celulosa.

INTRODUCCIÓN

Actualmente debido al desmedido e inadecuado aprovechamiento de los recursos naturales se percibe de manera incipiente un marcado deterioro o modificación de los hábitats naturales a nivel mundial, provocando preocupación por sus efectos y motivando la implementación de estrategias que reduzcan dichos problemas. En este sentido, el sector industrial y en específico el de la construcción ha tenido en los últimos años la demanda de materiales tanto de morteros de cemento y los sistemas tradicionales de aislamiento, con un enfoque amigable al medio ambiente pero además, que ayuden a disminuir gastos de construcción, consideren aspectos térmicos e incorporen un enfoque de confort climático en la vivienda o edificio (Holcim, 2016).

Una manera en que se puede usar el papel o cartón reciclado, es extrayendo la celulosa para agregarlo en la elaboración de mampuestos, los cuales tienen propiedades atractivas, tanto para albañiles como para los propietarios de edificaciones por abaratar los costos de los edificios al ser más livianos, que acortan los tiempos de construcción, son aislantes térmicos, por lo que no se precisa gastar en costosos aislantes adicionales y mano de obra correspondiente.

Para elaborar la mezcla utilizada en este tipo de mampuestos no se necesita un proceso complejo y caro en el reciclaje del papel; al obtener celulosa, esta no tiene que ser extremadamente limpia ni tener una blancura específica, porque para adquirir esta característica las recicladoras usan químicos que dañan al medio ambiente.

Este tipo de mampuestos favorecen un ahorro energético que puede impactar a las viviendas de manera positiva porque, gracias al clima extremo de la localidad de San Luis Río Colorado, (el Servicio Meteorológico Nacional; (2010), ha reportado temperaturas de hasta los 52.5 °C y -6 °C), da como resultado el alto uso de aires acondicionados y calentones, produciendo consumo importante de energía eléctrica generando costos elevados para los habitantes de esta ciudad.

En el sector secundario económico en la frontera de San Luis Río Colorado está la fabricación de mampuestos (ladrillos), hay alrededor de 100 fábricas, que emiten grandes cantidades de contaminantes al aire, durante el proceso de la quema de este material (Rodríguez, 2013).

San Luis Río Colorado padece de una grave contaminación de los gases y humos tóxicos generados por la quema o descomposición de la basura doméstica, industrial, las llantas, etc., que están tiradas a cielo abierto en el basurero, este abarca unas 80 hectáreas, además, de la quema de paja de trigo y de ladrilleras. Son tres fuentes importantes de contaminación que están haciendo padecer problemas de salud a los habitantes de la ciudad, viendo esta dificultad, las autoridades correspondientes no han puesto en marcha soluciones que puedan calmar esta complicación (Teorema Ambiental, 2015).

El uso de la celulosa proveniente del papel como material de desecho genera una oportunidad de disminuir la contaminación ambiental y pueda ser utilizado para la elaboración de mampuestos con propiedades aislante-térmico y de ligereza que brinden la posibilidad de un ahorro de energía eléctrica además, de disminuir el costo de construcción de las viviendas (Raut, Sedmake, Dhunde, Ralegaonkar, y Mandavgane, 2012) en este sentido, la presente investigación proporcionará una opción viable de elaboración de un material con propiedades de aislamiento térmico y accesible mediante la mezcla de celulosa, arena, tierra y cemento.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de la contaminación ambiental empezó a llamar la atención de las naciones desde los años 50, por los daños al ambiente que, ocasionó la segunda guerra mundial. Sin embargo, es hasta 1987 que se desarrolla el primer informe llamado “Nuestro Futuro Común” elaborado por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (CMMAD) de las Naciones Unidas, el informe habla sobre el alarmante modelo de desarrollo utilizado por los países industrializados y la incompatibilidad entre los modelos de producción, el consumo de estos países, el uso racional de los recursos y el soporte así los ecosistemas (Fernández, Ramírez, Ramírez, y González, 2013).

Actualmente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha hablado sobre el alarmante aumento de la contaminación ambiental en la mayor parte de las grandes urbes del mundo, al parecer la importante cifra del 90 por ciento de las ciudades no alcanzan los niveles de calidad que establece los estándares del Organismo de las Naciones Unidas (ONU), lo que representa un alto riesgo de que los habitantes sufran de problemas respiratorios y otras enfermedades.

Así mismo, la OMS ha recabado información (en 2014) que dice que un total de 1,600 ciudades de 91 países, han demostrado que solo el 12 por ciento de los habitantes que viven en estas ciudades respiran aire limpio y alrededor de 50 por ciento están expuestas a niveles de contaminación 2.5 veces mayores a los que establece esta organización. En la mayoría de las ciudades comparadas con la situación actual con las de los daños anteriores ha resultado que la contaminación del aire es cada vez peor, por lo que lo han atribuido a diversas causas como el uso de combustibles fósiles, el aumento del uso de los medios de transporte motorizados y deficiencias del consumo energético de hogares u oficinas. Además, las ciudades del mundo más sucias están dentro de la India, las cuales son; Nueva Delhi, Patna, Gwalior y Raipur; la capital India presentaba una media anual de 153

microgramos de partículas pequeñas (pm2.5) por metro cúbico de aire (El Mundo, 2014).

De acuerdo con el Estudio de las seis ciudades en USA hecho en la Universidad de Harvard (La asociación entre contaminación del aire y la mortalidad en las seis ciudades de U.S.) realizado por Dockery et al.; (1993), la cual se llevó a cabo en ciudades de estados como Tennessee, Ohio, etc., con una duración de 14 a 16 años y 111,076 muestras de personas. Los resultados obtenidos acreditaron que las partículas PM10g (partículas con un diámetro aerodinámico de igual o menos de 10 micrómetros, estas son generadas por polvos y la combustión de combustibles fósiles), y PM2.5 (partículas con un diámetro aerodinámico de igual o menos de 2.5 micrómetros de diámetro, que son partículas finas de hollín, ácidos condensados, sulfatos y nitratos).

Las PM2.5 son de las más peligrosas y tóxicas porque al ser muy finas, cuando se respiran es más fácil que lleguen profundamente a los pulmones. La investigación arrojó que la contaminación del aire sí influye significativamente en el exceso de muertes prematuras, causando enfermedades en los pulmones, problemas respiratorios, etc. En una estimación hecha en el año 2012, mueren 3.7 millones de personas prematuramente de todo en mundo por la contaminación del aire en zonas rurales y ciudades (León, 2016).

En la zona metropolitana de México (Guadalajara, Valle de México y Monterrey) se hizo un estudio parecido al de las seis ciudades de U.S.A., la cual arrojó resultados que, sobrepasan las normas mexicanas ($15\mu\text{g}/\text{m}^3$) y lo recomendado por la OMS ($10\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cabe destacar que Guadalajara superó en el año 2011 las concentraciones de MP2.5 con $30\mu\text{g}/\text{m}^3$, por el doble que está establecido en la norma Mexicana y el triple de la OMS. Las demás ciudades también sobrepasan la los estándares establecidos con cantidades similares (López y Pérez, 2014).

El autor León; (2016), dice que en el Valle de México la contaminación del aire causa alrededor de 20 mil 500 muertes al año, la mayoría por infecciones respiratorias y

bronquitis. La contaminación atmosférica en México generó costos de 14 mil millones de pesos (11.5 mdp pérdidas de productividad y 2.5 mdp gastos en salud) entre 2010 y 2013 con 19 mil muertes prematuras en 34, las ciudades más afectadas fueron Mexicali, Cuernavaca, Hermosillo y Monterrey (Matty, 2013).

De acuerdo con Odriozola; (1997), el consumo per cápita de papeles es considerado un indicador de calidad de vida en el país (en España 115 kg/habitante, Reino Unido 159.6 kg/habitante, Alemania 199.9 kg/habitante, EUA, 302.3 kg/habitante, México 100 kg/habitante) (Greenpeace México, 2010). Esto podría ser indicativo de contaminación de aire, agua, subsuelo, degradación de bosques y generación de basura.

México tiene el cuarto lugar en el índice de los países que más usan fibra (celulosa) de madera. En el proceso para extraer las fibras de celulosa del papel reciclado se necesita separar la basura (González, 2017), retirarle contaminantes y usar productos químicos como toneladas de cloro para limpiar y aclarar la pasta, sulfatos, soda cáustica, son usados para separar la lignina de las fibras de celulosa (La lignina actúa como un ligante para las fibras de celulosa, da el color marrón al papel). Estos químicos arrojan al aire dióxido de azufre, foranos, clorofenoles y bencenos clorados, entre muchos otros, dando problemas de salud a la fauna, flora y seres humanos que rodean las papeleras (Odriozola, 2000).

El mismo autor menciona que el papel solo se puede reciclar de 3 a 8 veces porque las fibras de celulosa adquiere una baja calidad, dependiendo del uso que le den y el tipo de método de producción de la pasta de celulosa ya sea mecánica (se desintegran el papel reciclado u hojuelas de madera por medio de molinos o rodillos) o química (se agrega agua caliente al papel reciclado u hojuelas de madera y se le añaden químicos para desintegrar las fibras (es el proceso que conserva mejor las fibras de celulosa), para quitar las tintas del papel reciclado se ha optado por cambiar los cloros a jabones biodegradables para no contaminar el medio ambiente,

pero esto sigue conllevando un costo adicional en el proceso de reciclaje además, de los otros costos como recolección y otros tratamientos para el papel.

El impacto negativo, que genera la obtención de energía eléctrica, al medio ambiente es uno de los más preocupantes y la sociedad está cada vez más interesada en la disminución del consumo eléctrico, pero se ve difícil esa tarea porque el clima es un factor importante que desencadena el excesivo uso de la electricidad debido que las personas están obligadas a su uso en gran escala y a pagar grandes cantidades monetarias por las tarifas eléctricas y se ven en la necesidad de buscar aislar las edificaciones con aislantes costosos (Cruz, 2015).

No hay normas estrictas que regulen los procesos de elaboración de mampuestos (ladrillos, bloques, etc.) por lo cual los ladrilleros usan llantas, madera con residuos de pintura y demás basura para realizar la cocción de los mampuestos lo que, se ve reflejado en las emisiones de gases altamente tóxicos como y cancerígenos como óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos poli nucleares, dioxinas, furanos, benceno, bifenilos policlorados y metales pesados como arsénico(As), cadmio(Cd), níquel (Ni), zinc(Zn), mercurio(Hg), cromo(Cr), etc., estos elementos y compuestos provocan irritación a la piel, ojos y membranas mucosas, trastornos en las vías respiratorias, en el sistema nervioso central, depresión y eventualmente cáncer (Benites, 2013).

Por estos problemas planteados se desea realizar esta investigación para generar un producto que ayude a reducir la contaminación ambiental y reducir gastos de energía eléctrica en las viviendas, diseñando una mezcla para utilizarse en la edificación, con papel de desperdicio en combinación de otros materiales, que posea propiedades físicas y mecánicas que cause un impacto positivo en la sociedad (Almengor, Gutiérrez, Moreno, y Caballero, 2017).

En el planteamiento de esta investigación surge la siguiente pregunta de investigación:

1. ¿Qué propiedades físicas y mecánicas necesita una mezcla de cemento-tierra o arena-celulosa de papel reciclado para que puedan ser utilizadas en la industria de la construcción y generen una vivienda de confort?

Objetivo general

Obtener una mezcla para elaborar mampuestos competentes no estructurales, incluyendo celulosa reciclada.

Objetivos específicos

1. Determinar la proporción adecuada de celulosa, cemento, tierra o arena y agua para elaborar los mampuestos (bloques, ladrillos, etc.) que puedan utilizarse en la industria de la construcción.
2. Realizar pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua, densidad y conductividad térmica, en dosificaciones de mezclas con celulosa para determinar la mejor mezcla que pueda usarse en la edificación.

Justificación

Las condiciones de contaminación y el clima extremo de la localidad de San Luis Río Colorado, así como los altos costos y consumos de energía eléctrica, motivan a la búsqueda de un material para la construcción que ayude a reducir el impacto de los problemas antes mencionados.

De acuerdo con la investigación de reducción de contaminantes del aire, hecha en Monterrey, Guadalajara y el Valle de México; las recomendaciones que se dieron concuerdan con la investigación similar realizada en Estados Unidos (de las seis ciudades), las cuales fueron el reducir las partículas PM10 y PM2.5, contaminantes del aire que causan enfermedades cardiovasculares, asma, tos, detonantes de

cáncer pulmonar, entre otras, además, que producen mortandad prematura en la sociedad.

Los autores López y Pérez; (2014), dicen que al mantener estas partículas (PM10 y PM2.5) dentro de los regímenes normativos del país o las recomendados por la OMS, se produciría una importante disminución del gasto público en cuestión de salud (millones de pesos) y privado, derivado o provocado por las muertes prematuras, rendimientos bajos de producción por falta de personal enfermo y demás problemas que provoca los altos índices de contaminación del aire. Entonces es una buena medida el optar por cambiar los procesos de producción de los mampuestos para reducir las emisiones contaminantes tóxicas del quemado que, provoca el descontento y enfermedades en la comunidad (Delgado, 2017).

El proceso de quemado en la elaboración de mampuestos, es uno de los pasos finales para producirlo, y es de los más contaminantes, para mantener el horno encendido se usan llantas, leña, aceites usados, residuos industriales, materiales orgánicos de desecho que, provocan grandes cantidades de gases y partículas tóxicas, además, no es sorprendente de que tengan malas condiciones de seguridad e higiene. Al usarse el cemento como estabilizador de la mezcla se omite el proceso de quemado sin control, junto con la mayoría de los impactos ambientales negativos; un cambio en las mezclas para realizar los mampuestos sería provechoso en cuanto en el problema en la calidad ambiental, de salud y social que generan las ladrilleras convencionales. Los sistemas de elaboración de mampuestos en la ciudad de San Luis Río Colorado son rudimentarios, las personas usan equipamiento básico por no poder contar con recursos suficientes para, poder complementar la industria ladrillera de tecnología que, cuide al medio ambiente y la salud (Figueroa, 2009).

Para reciclar el papel y extraer la celulosa que, se necesita en la mezcla para realizar los mampuestos, no es necesario el uso de cloros, jabones u otros químicos al no ocupar blanquear en demasía porque, la celulosa que se pretende usar puede ser

una calidad baja comparada con la pasta que se usa para hacer papel para impresión, escritura, etc. No necesita mucho gasto en maquinaria especializada, resultando una reducción de uso de agua además de, menor energía, por lo que no representaría un riesgo mayor de contaminación y tendría un bajo costo en comparación a un procedimiento de extracción normal en fábricas recicladoras de papel (Greenpeace México, 2010).

Al hacer mampuestos agregándole celulosa, cemento, tierra y agua; se logran piezas livianas, resistentes térmicos y resistentes mecánicamente, logrando abaratar los costos de la mano de obra, (al construir más rápido) y ahorro de materiales aislantes, etc., estas son las propiedades más importantes y atrayentes para la región de San Luis Río Colorado por las condiciones de clima extremo de la zona y los altos costos de materiales para construcción, además, de la posibilidad de reducción de uso de energía eléctrica (Raut, Mandavgane, y Ralegaonkar, 2014)

Hipótesis

Los mampuestos (ladrillos, bloques, etc.) elaborados con agregado de celulosa reciclada son lo suficientemente resistentes, livianos y térmicos para su utilización en la industria de la construcción.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos generales

2.1.1 Estructura

Estructura es una combinación organizada de las partes conectadas entre sí proyectada para proveer un cierto grado de rigidez. Este término se refiere a las partes sometidas a carga (DeficiónABC, 2017).

2.1.2 Muro

El diccionario de la lengua española; (2018), dice que un muro o pared es una obra de albañilería vertical, que cierra o limita un espacio

2.1.3 Mampostería

Borrás y Fatás; (2006), definen como mampostería al sistema de construcción tradicional de levantar muros o edificios, colocando manualmente los materiales que lo componen, llamados mampuestos (piedras, bloques prefabricados, etc.).

- a) **Mampostería estructural.** Es un sistema compuesto por bloques, mampuestos, adoquines, etc. hechos de concreto u otros materiales que pueden resistir sus propios pesos, sismo o viento además, está basado fundamentado en la construcción de muros colocados a mano, de perforación vertical, reforzadas internamente con acero estructural y alambres de amarre (360° en Concreto, 2015).
- b) **Mampostería no estructural.** Son aquellos muros que no soportan cargas más que su propio peso, tienen la función de separar espacios dentro la construcción (Guerrero, Tunarosa, y Veloza, 2012).

2.1.4 Tipos de muros en la mampostería

Los autores Colacce, Leao y Pastorino; (2015), definen los tipos de muros a continuación:

- 1) **Mampostería confinada.** Están conformadas por muros hechos con mampuestos pegados con mortero, confinados por columnas y vigas en concreto vaciado. Estos muros estructurales están diseñados para soportar el peso de losas, techos, su propio peso y resisten las fuerzas horizontales ejercidas por un sismo o el viento (**figura 1**).



Figura 1. Mampostería confinada. Fuente: Belli, (2016)

- 2) **Mampostería reforzada.** Es la estructura conformada por mampuestos (mampuestos, bloques, etc.) de perforación vertical, ensambladas por medio de mortero, fortalecida interiormente con varillas y alambres de acero. El mortero de relleno puede colocarse en todas las celdas verticales o solamente en aquellas donde está ubicado el refuerzo o las varillas.
- 3) **Mampostería parcialmente reforzada.** Esta realizada por piezas de mampostería de perforación vertical, pegadas por un mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero.
- 4) **Mampostería simple o no reforzada.** Muro conformado por piezas de mampostería unidas por un mortero (**figura 2**) y que no cumplen las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada.



Figura 2. Mampostería simple. Fuente: Todo sobre arquitectura, (2018)

2.1.5 Mortero

Se define como morteros a mezclas hechas con aglomerantes inorgánicos, áridos, agua y aditivos (opcionales). Usados en la construcción comúnmente para unir mampuestos y revestir entre otras formas según su fórmula (Costrumática, 2017).

2.1.6 Agregados

Los agregados son materiales granulares como arena, grava o piedra triturada, usadas con aglomerantes para formar concreto o mortero y puede usarse en su medio natural o triturado de acuerdo a su uso y aplicación (CEMEX México, 2017).

2.2 Aglomerantes en la construcción

Un aglomerante es un compuesto de solo una o más sustancias capaz de endurecerse en un periodo largo o corto de tiempo y capaz de unir distintos materiales heterogéneos (Gomá, 1979).

Los aglomerantes pueden ser orgánicos o inorgánicos, de los cuales están:

- 1) Arcillas.** Son depósitos o sedimentos naturales formados por diferentes componentes como silicatos, óxido de hierro, aluminio, etc. que al mojarse con agua se vuelve plástico cuyas partículas son menores a cuatro micras (Domínguez y Schifter, 1995).

- 2) **Yeso.** (Almagro, 1986), dice que el yeso es un mineral constituido por sulfato cálcico hidratado, de color blanco, de aspecto terroso y suficientemente blando para ser raspado por una uña que cuando se mezcla con agua es fácil de moldear, pero seca rápido. Es una roca sedimentaria originada en zonas volcánicas por la acción de ácido sulfúrico sobre minerales que contienen calcio.
- 3) **Cal.** El autor anterior menciona que la piedra caliza (carbonato de calcio) tiene que ser calcinada, rompiéndose las moléculas obteniéndose la cal viva, que debe ser apagada con agua obteniéndose hidróxido de calcio o cal apagada.
- 4) **Cemento.** El Instituto Español del cemento y sus aplicaciones; (2017), dice que el cemento es un aglomerante hidráulico inorgánico finamente molido, que al ser amasado con agua forma una pasta que fragua y endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación (calor de hidratación 250-290 kJ/kg a 7 días), una vez endurecido posee propiedades como la resistencia y tiene estabilidad bajo el agua. Se puede producir concreto o mortero mezclándolo y dosificándolo con agua y áridos. El endurecimiento del concreto se debe principalmente por la hidratación de los silicatos de calcio y otros componentes químicos como los aluminatos. El cemento tiene proporciones de óxido de calcio reactivo (CaO) y dióxido de silicio reactivo (SiO₂) además, su clasificación explicada por el IMCYC; (2013), es la siguiente:
- CPO (cemento Portland ordinario): Hecho mediante la molienda del Clinker Portland y sulfato de calcio.
 - CPP (cemento Portland puzolánico): Resultado de mezclar Clinker Portland, puzolanas y sulfato de calcio.
 - CPEG (cemento Portland con escoria granulada de alto horno):

Realizado mediante la molienda de del Clinker Portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.

- CPC (cemento Portland compuesto): Obtenido cuando se muelen conjuntamente Clinker Portland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio. En este tipo de cemento la caliza puede ser el único componente adicional al Clinker Portland con el sulfato de calcio.
- CPS (cemento Portland con humo de sílice): El que resulta de la molienda conjunta del Clinker Portland, humo de sílice y sulfato de calcio.
- CEG (cemento con escoria granulada de alto horno): El producido mediante la molienda conjunta del Clinker Portland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno.

Resistencia a la Compresión del Cemento. Los cementos Portland se clasifican en las clases resistentes que se indican en el **cuadro 1** del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación; (2001).

Cuadro 1. Clases resistentes de los cementos Portland. Fuente: ONNCCE, (2001)

Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)			
Clase resistente	A 3 días (Resistencia inicial del cemento)	A 28 días (Resistencia normal del cemento)	
	Mínimo	Mínimo	Máximo
20	-	204	408
30	-	306	510
30R	204	306	510
40	-	408	-
40R	306	408	-

2.2 Cuidados especiales para el endurecimiento o fraguado de

mampuestos hechos con cemento y el concreto.

2.2.1 Fraguado

De acuerdo con el Diccionario de Arquitectura y Construcción; (2017), el fraguado es el endurecimiento o solidificación y pérdida de plasticidad inicial que tiene un concreto, mortero, cemento, etc. El tiempo de fraguado inicial es aproximadamente de 45 a 60 minutos y el final alrededor de 10 horas (Arqhys, 2017).

2.2.2 Curado

El IMCYC; (1999), dice que el objetivo del curado es evitar el secado prematuro del concreto, sea por los rayos del sol o el viento (clima). Las consecuencias de no curar un concreto son la disminución de sus propiedades como la resistencia, fisuras, baja durabilidad entre otros, debido a que la reacción química del agua y el cemento se ve interrumpida por falta de agua.

Dependiendo de las características del concreto y del clima, será el tipo de curado a necesitar, en general, los siguientes métodos de curado son definidas por el IMCYC, (1994) y el Grupo Morbeck, (2014):

- 1) Sombreado de trabajo de concreto.** Este método consiste en sombrear con lonas, grandes superficies de concreto como losas de carreteras con el fin de proteger la superficie de la lluvia, los rayos del sol y viento, en tiempo fríos ayuda a proteger el calor de hidratación del cemento con el fin de que no se congele el concreto.
- 2) Recubrimiento de superficies de concreto con lona, o bolsas plásticas.** El procedimiento consiste en que se usan lonas, bolsas o telas para cubrir de preferencia el concreto estructural. Evita que la superficie del concreto se esponje al clima y se seque. Se humedecen periódicamente, el tiempo de humectación dependerá del clima y el periodo de evaporación del agua utilizado en el curado. Este es un método es ampliamente utilizado en la

construcción y e debe asegurar que la superficie del hormigón no se deja secar incluso durante un corto tiempo durante el período de curado.

- 3) **Aspersión de agua.** Este tipo de curado es de los más eficientes y más utilizados en losas de piso. El aerosol se puede hacer con una caja o bote de plástico perforado. En trabajos pequeños la aspersión de agua puede hacerse a mano. En este método de curado el uso de agua es mayor.
- 4) **Materiales selladores.** Este método consiste en cubrir la superficie del concreto humedecida con un material sellador o membrana para evitar la evaporación del agua. La membrana a utilizarse puede ser en forma sólida o líquida. Las membranas más utilizadas son papeles recubiertos de betún (hidrocarburos naturales o de petróleo, sólidos, viscosos o líquidos) (Construmática, 2017) a prueba de agua, emulsiones de cera, y películas de plástico son los tipos más comunes de membrana utilizados. Este tipo de curado no se necesita estar supervisándolo constantemente y no se requieren grandes cantidades de agua aunque la hidratación del cemento y fuerza es menor que el curado en húmedo.
- 5) **Curado de vapor.** Es uno de los procedimientos más utilizados por la industria de pre moldeado de concreto. El vapor de agua ofrece a la vez calor y humedad, importantes para lograr la resistencia idónea del cemento portland, no es aconsejable que se utilicen en cementos aluminosos o sobresulfatados. El curado a vapor puede ser de vapor libre o sea que, se utilice a presión atmosférica, en el cual se desarrolla en forma continua, intermitente o bien de vapor a alta presión. Este proceso se realiza en recintos aislados, túneles o cámaras de fraguado (hornos). Se debe prevenir la caída permanente de goteo porque puede producir ablandaduras o descascarillados.

El ciclo térmico consta de las siguientes cinco etapas descritas por el IMCYC; (2004):

- 1) Tiempo de iniciación del tratamiento, llamado período preliminar (debido a las reacciones químicas del cemento este se debe dejar pasar un tiempo antes de curar, a esto le llaman pre fraguado, desde el colado del concreto hasta la iniciación, deben pasar de cuatro y siete horas).
- 2) Velocidad de calentamiento hasta llegar a la temperatura máxima (entre 10°C y 30 °C/hora por tres o cinco horas).
- 3) Temperatura máxima constante (entre 60 °C y 80 °C).
- 4) Tiempo de permanencia con temperatura máxima (18 horas dependiendo de la economía se puede dejar por más o menos tiempo y la resistencia del producto variaría.).
- 5) Velocidad de enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente (se deben evitar los enfriamientos bruscos y las bruscas variaciones de humedad. Es aconsejable que el enfriamiento este entre 5 °C y 20 °C).

2.3 Aspectos generales involucrados en la aislación térmica de una vivienda

El clima (lluvias, calor, frío, aire, etc.) se ven modificados en el interior de las viviendas gracias a la contribución del aislamiento térmico, que con una selección de materiales adecuados, contribuye a un logro de un microclima que asegure condiciones de confort para las personas, dando ventajas económicas por la disminución del consumo de energía eléctrica para obtener condiciones favorables en la vivienda (Cámara industrial de la cerámica roja, 1998).

2.3.1 Confort térmico

El confort térmico es una percepción neutra de la persona respecto a un ambiente térmico determinado. Depende de factores globales externos, como la temperatura y velocidad del aire, la humedad relativa, y otros específicos internos como la actividad física realizada, la ropa o el metabolismo de cada individuo.

De tal manera, el balance global de pérdidas y ganancias de calor debe ser nulo, conservando de esta forma nuestra temperatura normal, es decir, cuando se alcanza el equilibrio térmico para obtener la sensación de confort (Construmática, 2018b).

2.3.2 Energía

La Energía es la capacidad que posee un cuerpo para realizar una acción, también producir un cambio o una transformación, y se revela cuando pasa de un cuerpo a otro. La energía está continuamente en nuestro alrededor, y se presenta bajo muchas formas; como la energía cinética (energía que tiene un cuerpo en movimiento), energía potencial (energía que tiene un cuerpo originada por su posición en el espacio), energía eléctrica (capaz de encender un bombillo o hacer funcionar un motor), etc. Existen dos maneras de suministrar y brindar energía; las fuentes renovables, las cuales no se agotan, como la luz de sol, el viento, las lluvias, las corrientes de los ríos, etc.; y las fuentes no renovables, que se agotan cuando son empleadas, como el petróleo, el gas natural o el carbón.

De igual importancia, la ley de la conservación de la energía dice que la energía no se crea ni se destruye, simplemente se transforma; es decir, que la energía puede tomar apariencia de corriente eléctrica, luz, calor, sonido y movimiento. La energía se transfiere, es decir, cuando un objeto se calienta, porque otro cuerpo que tiene una temperatura mayor, le transfiere energía en forma de calor, este sufre un cambio, por lo que en el proceso se realiza algún tipo de trabajo (ConceptoDefinición, 2018).

2.3.3 Transmisión de calor

Normalmente se produce la transferencia de calor de un objeto con una alta temperatura, a otro objeto con temperatura más baja. La transferencia de calor cambia la energía interna de ambos sistemas implicados (Olmo y Nave, 2017) .

La velocidad con la que el calor se transmite a través de los materiales se mide con la conductividad térmica (k), por lo cual es importante porque se involucra en el uso de elementos aislantes o bajos conductores de calor. La conductividad térmica determina la velocidad con que una cantidad de energía térmica se desplaza a través de un cuerpo entre dos puntos, entre el que tiene mayor temperatura al de menor temperatura (Camargo, 2015).

2.3.4 Modos de transmisión del calor

La Food and Agriculture Organization of the United Nations, Departamento de Pesca; (2017), dice que es importante el conocer cómo se transmite el calor, además que, el calor siempre se mueve de las zonas más calientes a las más frías; por ende, busca el equilibrio. Además, este puede transferirse por conducción, por convección o por radiación, o por una combinación de los tres modos, la misma organización explica a continuación estos tres métodos de transferencia de calor:

- a) Conducción.** Es la transmisión de calor cuando se da un contacto físico entre partículas (molécula a molécula) con diferencias de temperaturas. La conducción térmica es la medida de la velocidad en el que el flujo de calor pasa de una partícula a otra. La diferencia de temperatura y conductividad determinan la tasa de flujo de calor a través de un material específico.
- b) Convección.** La transmisión calorífica por convección es debida al movimiento de aire, gas o un líquido; llevando consigo su calor de un lugar a otro calentándolo. La tasa de flujo de calor varía en función de la temperatura del gas o líquido en movimiento y de su caudal.
- c) Radiación.** Esta energía se transmite en forma de luz, como como radiación infrarroja u otro tipo de ondas electromagnéticas. Emanan de un cuerpo caliente y solo se puede transmitir a través de medios transparentes como el vidrio la atmosfera y los materiales transparentes o translucidos dejan pasar una cantidad de calor importante y este puede ser absorbido por una

superficie, es muy conocido que las superficies de colores claros o brillantes reflejan más calor radiante que las superficies negras u oscuras, por lo que las primeras tardarán más tiempo en calentarse.

2.3.5 Ahorro energético

Se le llama ahorro energético o eficiencia energética a todas las acciones que conducen a una reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior, y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía (Echeverría Aguilar, 2018).

2.4 Materia prima

2.4.1 Cemento

1) **Cemento CPC 30R (cemento portland compuesto).** El cemento portland es un alúmina silicato de calcio. Se obtienen de una mezcla de minerales formados de piedra caliza y arcilla, horneados a un aproximado de 1300°C, el material obtenido (Clinker), se muele finamente agregándole yeso (no debe pasar del 3% porque al fraguar el cemento se producirían grietas) para evitar que fragüe instantáneamente al contacto con el agua (Facultad de Ingeniería de la Universidad Nordeste Nacional, 2014).

Cuadro 2. Especificaciones mecánicas y físicas del Cemento CPC 30R. Fuente: CEMEX, (2017)

Especificaciones mecánicas	Método de prueba	Resultados	Unidades	Condición del resultado
Resistencia a la compresión en 3 días	NMX-C-061	22	N/mm ²	Valor mínimo esperado
Resistencia a la compresión en 28 días	NMX-C-061	34	N/mm ²	Valor mínimo esperado
Especificaciones Físicas	Método de prueba	Resultados	Unidades	Condición del resultado

Tiempo de fraguado inicial	NMX-C-059	45	Minutos	Valor mínimo esperado
Tiempo de fraguado inicial	NMX-C-059	600	Minutos	Valor mínimo esperado
Expansión en autoclave	NMX-C-062	0.2	%	Valor mínimo esperado

Para emplear este tipo de cemento, las recomendaciones de dosificaciones son las siguientes (cuadro 3):

Cuadro 3. Dosificación de un saco de cemento CPC 30R. Fuente: CEMEX, (2017)

Aplicación	Cemento	Grava	Arena	Agua
	Bulto 50 kg	Botes	Botes	Botes
Muros y pisos	1	8.5	8	3
Castillos y dalas	1	6.5	5.5	2.5
Losas y zapatas	1	5	4	2
Columnas y techos	1	4.5	3.5	1.5

2) Cemento CPC 40. Este tipo de Cemento Portland Compuesto 40 presenta una mayor resistencia a la compresión que es alrededor de 408 kg/cm², en consideración al Cemento CPC 30R. Este cemento está compuesto principalmente por Clinker Portland, las normas mencionan que los cementos tipo portland deben fabricarse con un mínimo de 65% de Clinker más yeso en masa más la combinación de al menos de dos minerales como escoria granulada de alto horno, “filler” calcáreo y puzolanas (naturales y/o artificiales).

Así mismo, este tipo de cemento es la mejor opción para usarse en las plantas de concreto premezclado porque presenta un desempeño de fraguado y resistencia óptimas para eficiencia del rendimiento en la fabricación productos prefabricados de concreto, por el rápido desarrollo de resistencias iniciales y una alta velocidad de producción de piezas terminadas (Becker, 2014).

2.4.2 Arena

La EcuRed; (2017), define a la arena como conjunto de partículas (de tamaño entre 0,063 y 2 mm) de rocas desintegradas química o mecánica natural o de trituración artificial.

A continuación, el mismo autor explica los tipos y clasificaciones de las arenas:

Tipos de arenas

- Arenas naturales: Producidas por la disgregación natural de las rocas, las de mejor calidad son las que contienen sílice o cuarzo (color azul). Procedentes de río, de cantos rodados.
- De mina: Están depositadas en el interior de la tierra formando capas, de forma angular, de diferentes colores como azul, gris y rosa, los de color rosa contienen óxido de hierro.
- De playa: Porque contienen restos orgánicos y sal, necesitan ser lavadas con agua dulce.
- Volcánicas: Se encuentran en zonas cercanas a los volcanes y son de color negro.

Clasificación de la arena por tamaño de sus granos

- Arenas gruesas: Son las que pasan una malla de 5 mm y son retenidas por otra de 2 mm.
- Arenas medias: Las que pasan una malla de 2 mm y son retenidas por otra de 0.5 mm.

- Arenas finas: Las que pasan una malla de 0.5mm y son retenidas por otra de 0.02 mm.

Clasificación de la arena por su composición química

- Cuarzosas. El material principal predominante es cuarzo.
- Silíceas. Cuando los materiales predominantes en la arena son silicatos o feldespatos.
- Calcáreas. Cuando el material predominante en la arena es la caliza.

2.4.3 Celulosa

Beyer y Walter; (1987), indican que el componente principal de las paredes celulares de las plantas es la celulosa, el cáñamo, el algodón, el lino entre otras fibras vegetales están compuestamente principalmente por celulosa. Las maderas de fronda constatan de 50% a 40% de celulosa con 25% a 30% de hemicelulosa y otro tanto de lignina (compuesta de pentosanos y compuestos cíclicos o aromáticos que vuelven rígida y oscura a esta fibra) (López, 2002).

La celulosa es incolora e insoluble en agua, la mayoría de los disolventes orgánicos no disuelven la celulosa, siendo el ácido clorhídrico concentrado y solución amoniacal de hidróxido de cobre productos pueden disolver la celulosa (Beyer y Walter, 1987).

2.4.4 Fabricación de pulpa de celulosa

López; (2002), indica que para la fabricación de papel primero de deben llevar varios pasos de procesado de los troncos de madera, una vez que los troncos han sido transportados hacia la fábrica se procede primeramente a quitar la corteza después, se tritura el tronco hasta conseguir hojuelas o astillas. La pasta que queda se compondrá mayormente de celulosa y lignina (25% de la madera). Por ultimo de se

trata la pasta en el proceso de blanqueo para quitar la mayoría de lignina para obtener una calidad adecuada.

El mismo autor habla sobre los tipos de procesos de blanqueo de la pulpa de celulosa:

a) Método TMT (papel termomecánico). Se utiliza el mismo proceso descrito anteriormente para el triturado de troncos con agua (solo se usa pino, por ser madera blanda), para el blanqueo se usa oxígeno o aire, se filtra, se seca y procesa en rodillos para producir papel. Este método da como resultado papel de baja calidad por lo corto de las fibras de celulosa y su alto contenido de lignina que dan un resultado de poca resistencia y color amarillento al entrar en contacto con el sol. Es usado para periódicos y productos que requieran una baja resistencia.

b) Método Kraft. En este método se opta por astillar la madera (blandas y duras) después, se introducen las astillas, para separar la lignina de la celulosa, a cocción en calderas con químicos como sosa caústica o en conjunto carbonato de calcio y sulfato de sodio a una temperatura de 200°C a alta presión para, hacer la pulpa dando así, una separación importante de la lignina y celulosa. Estas pastas tienen la característica de ser más resistentes porque, las fibras de celulosa son más largas. Este método causa gases llamados sulfhídricos los cuales son contaminantes fuertes y precursores de la lluvia ácida.

En la segunda etapa del método Kraft, el blanqueo de la pasta, se usa cloro, dióxido de cloro u ozono y agua oxigenada. Para blanquear una tonelada de pasta se necesita de 30 kg. a 80 kg. de cloro. Este proceso da una mejor calidad al papel porque disuelve toda la lignina sin dañar a la celulosa dando como resultado papeles más blancos y brillantes. Se usa otro método para blanquear la pasta alternando el uso de oxígeno con el cloro además de tiempos de cocción más prolongados.

2.4.5 Reciclado del papel

Para extraer la pulpa de celulosa del papel reciclado se hace prácticamente lo mismo que el pulpeo de fibra virgen (Bellver, 2015), solo que se pasa por tamices para quitar plásticos, metales, u otros objetos y para quitar las tintas se usa jabón también, inyectando aire a presión. Por último se procede al lavado y filtrado (tamizado) para quitar la arena o tierra y espesado para reducir la cantidad de agua y al producir las láminas de papel se le aplican químicos (almidón y sulfato de aluminio) a la mezcla para brindarles más resistencia (Bustos, 2017).

2.5 La industria del ladrillo

Informalmente es como se fabrica el ladrillo, refiriéndose a las empresas no constituidas en sociedad formadas principalmente por el sector de los hogares con el fin de producir bienes o servicios generando ingresos y empleo a las personas implicadas (Figueroa, 2009).

El ladrillo es parte fundamental en la industria de la construcción, el cual se define como como una piedra artificial hecha de una masa de arcilla , en forma geométrica, que, después de cocida, adquiere una gran dureza y resistencia, usándose para construir muros, etc (Diccionario de la lengua española, 2017).

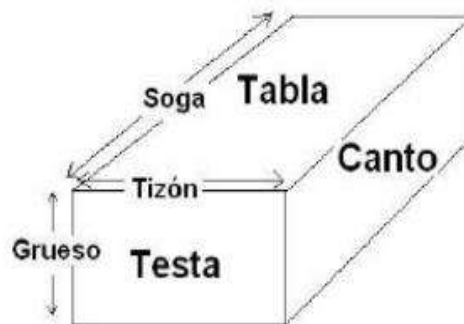


Figura 3. Las partes que componen al ladrillo sólido.
Fuente: Choquegonza, (2018)

Lamentablemente la industria del ladrillo es una parte olvidada y conformada por el sector de más bajo ingreso monetario y un mínimo acceso a una atención de la

salud. La elaboración del ladrillo ha sido desarrollada por personas de la clase trabajadora marginada que, utilizan este oficio de auto empleo con poca estabilidad económica con una demanda intensa de esfuerzo y desgaste físico con un impacto negativo a la salud del trabajador (Figueroa, 2009).



Figura 4. Barda realizada con ladrillo cocido en San Luis Río Colorado

2.5.1 El ladrillo en la antigüedad

El ladrillo es el material de construcción más antiguo usado por el hombre (figura 5). Se empezó a elaborar de forma cruda, con adobe, agua y su gran difusión se debió a que el hombre le dio un tamaño práctico, los materiales eran accesibles por lo que se podrían encontrar casi en cualquier parte. Se tiene entendido que el ladrillo se originó en las antiguas civilizaciones del Mar Oriente hace más de 2500 años. Con el pasar del tiempo, los Sumerios se dieron cuenta que humectando, amasado, secado y posteriormente sometiendo a cocción a las arcillas, éstas se tornaban estables y resistentes, dando el origen a la cerámica para la construcción por lo que sustituiría a la piedra (Bianucci, 2009).



Figura 5. Ladrillo fabricado en la localidad de San Luis Río Colorado

2.6 Ladrillo tradicional

2.6.1 Proceso de elaboración del ladrillo

ETAPA 1. Extracción de arcilla



Figura 6. Excavación para la extracción de la arcilla en ejido la Grullita

Por lo general, la arcilla es extraída de fosas o zanjas abiertas en la tierra (figura 6). La extracción consiste en dos partes la primera el desbrozo (deshierbar) del terreno y la segunda la obtención de la arcilla(Ramos, 2017).

ETAPA 2. Mezcla

Materia prima para la mezcla

- **Arcilla roja.** La arcilla una roca sedimentaria formada por partículas muy finas (figura 7), al mezclarse con agua se vuelve plástica y se endurece por secado y calor con contenido de filosilicatos (minerales como tilita y esmética, de peso específico bajo y blandos). Lo que le da el color rojo característico de los mampuestos comunes luego de la cocción es que, contiene óxido de hierro común en cañadones secos (Galán y Aparicio, 1961; García y Suárez, 2017).



Figura 7. Barro utilizado en la elaboración de ladrillos cocidos en la Ciudad de San Luis Río Colorado

- **Agregados.** Algunos artesanos añaden agregados de materia orgánica a la mezcla como pueden ser aserrín, cáscara de arroz o de café, cenizas, estiércol (figura 8), arena, etc. Con el fin de que actúen como ligante para que no aparezcan grietas en el ladrillo durante el secado o la cocción (Ministerio de la Producción, 2010). Según Ibarra; (2004), la arena juega el papel de importante en la mezcla porque es un desengrasante de la arcilla. Los mejores ingredientes para hacer un ladrillo resistente son cal, óxido de hierro y arena, cuando no son excesivas provocan durante la cocción una vitrificación haciendo que los mampuestos sean más duros y resistentes. En San Luis Río Colorado se usa barro extraído en el ejido la Grullita además de estiércol de vaca generado por los establos ganaderos cercanos a la ciudad.



Figura 8. Estiércol de vaca utilizado en la mezcla para la elaboración de ladrillos

- **Mezclado.** Con ayuda de una pala se hacen fosas en donde se acomoda primero la arcilla y la arena, con una proporción de 4 partes de arcilla por 3 de arena, con un 25% de agua y otro agregado como el excremento de caballo, de modo que no quede dura o muy aguada. Para mezclar estos elementos se usa tradicionalmente las manos y los pies (figura 9) pero, es muy cansado por lo que muchos ladrilleros usan un tractor, pasan las llantas hasta que la mezcla se haga homogénea (Ibarra, 2004; Ministerio de la Producción, 2010).

Los fabricantes de mampuestos en San Luis R. C. usan la pala para mezclar, desparraman el barro, se le hecha el estiércol de vaca y se remoja con agua. Con una pala se bate la mezcla, para dejar reposando la mezcla por 24 horas, se corta en tres con un azadón.



Figura 9. Amasado la mezcla para la elaboración de ladrillos

ETAPA 3. Moldeo de ladrillo

Cuando se tiene preparada la mezcla, se dispone de preparar el terreno para realizar el moldeo con la ayuda de una rejilla sin fondo de madera o acero (figura 10), esta se pone en el suelo, antes de poner la masa en los moldes, le agregan un poco de arena para que actúe como antiadherente, esto ayuda a que los mampuestos no se peguen al molde al momento de desmoldarlos y con un pedazo de madera se le retira el sobrante. Con una carretilla se va moviendo la mezcla para el moldeo de los mampuestos (Bianucci, 2009; Ibarra, 2004; Ministerio de la Producción, 2010)



Figura 10. Rejilla sin fondo de madera utilizada en el moldeo de los ladrillos solidos

En San Luis Río Colorado, se realiza el moldeo de mampuestos de igual modo, solo que en vez de usar arena para que actúe como antiadherente para el desmolde, se lava el molde con agua cada vez que se desmoldan los mampuestos.

ETAPA 4. Secado

Esta etapa se realiza al aire libre, o en un lugar fresco y aireado alejado de fuentes de calor (figura 11, 12), el cual dura entre tres a una semana dependiendo del clima, la finalidad es que el ladrillo pierda el agua que absorbió durante el moldeo, si se hornea cuando el ladrillo está muy húmedo hay posibilidad de fractura además de gastar más combustible para el horno (Zea, 2005)



Figura 12. Moldeo manual del ladrillo por medio de rejilla de madera



Figura 11. Ladrillos secándose en la intemperie antes de cocerse

De acuerdo con el clima extremo en la localidad de San Luis R. C. los mampuestos se dejan secar por tres días en invierno y en verano se tarda en secar de dos días a un día. Antes de poderlos apilar primero se refilan los bordes de cada ladrillo, con un machete.

ETAPA 5. Cocción

Para la cocción se hacen hornos de forma de túnel o campo (figura 14), etc., por lo general tienen capacidad para unos 25 a 50 millares dependiendo de las dimensiones del horno, se llevan a temperaturas altas de 90°C a 1000°C, por una entrada se colocan los mampuestos en grupos debidamente secados (teniendo un 3% de humedad cada ladrillo), se dejan pequeños espacios entre sí para que circule debidamente el aire caliente y se dejan de 24 a 70 horas cocinando (Bianucci, 2009).



Figura 13. Mampuestos apilados esperando para ser cocidos



Figura 14. Horno de túnel para la cocción de ladrillos.



Figura 15. Materiales utilizados para la cocción del ladrillo

2.6. La industria del bloque de concreto

Soriano y Ángeles; (2015), dicen que un bloque es un mampuesto para uso estructural de forma prismática, que se obtiene por moldeo de cemento u otros materiales y puede ser macizo o hueco.

Para unir piezas de piedra en construcciones los romanos utilizaron mortero de cemento en el año 200 a. C. En el reinado del emperador Romano, Calígula (37 d. C. – 41 d. C.), se utilizaron en la edificación, pequeñas piezas de concreto en la zona de la actual Nápoles, en Italia. Debido a la caída del Imperio romano en el siglo V, se perdió mucha tecnología en concreto que desarrollaron. Hasta el año 1824 que el Inglés Joseph Aspdin desarrolló y patentó el cemento portland, el cual se transformó en uno de los materiales principales del concreto moderno. Los bloques de concreto sólido fueron manufacturados por primera vez en Inglaterra al rededor del año 1850 y fueron usados por primera vez en los Estados Unidos en la época de 1880. La primera patente por bloques de concreto fue otorgada a Hutchinson en el año de 1866 (Classic Rock Face Block, 2018).

Harmon Sylvanus Palmer, en el año 1890, diseñó la primer máquina bloquera en los Estados Unidos, después de experimentar por 10 años, Harmon logró patentar

su diseño en el año de 1900. Los bloques que diseño tenían las medidas de 20.3 cm x 25.4 cm x 76.2 cm, los cuales eran tan pesados que tenían que ser colorados en su sitio con una grúa pequeña (Soriano y Ángeles, 2015).

Ya se contabilizaban más de 1.500 empresas en el año de 1905, que fabricaban de bloques de concreto solamente en los Estados Unidos. En esa época, los bloques se hacían a mano y la capacidad de producción promedio era de 10 piezas/bloques por hora. En la actualidad la elaboración de bloques es un proceso muy automatizado capaz de producir hasta 2.000 piezas por hora. A inicios del siglo XX aparecieron los primeros bloques huecos para muros, con la ventaja de ligereza por lo que implicaba un gran adelanto para ese tiempo. Para realizar los bloques se utilizaban moldes metálicos con los cuales compactaban manualmente la mezcla, este método de producción se siguió usando hasta los años veinte, época en la cual aparecieron martillos accionados mecánicamente, después, se descubrió la conveniencia de la compactación realizada a base de vibro compactación, siendo que las maquinas más modernas de la actualidad utilizan este sistema (Galicia, Ángeles, González y Muñoz, 2018).

2.6.1 Elaboración de bloques de concreto

- **Materia prima.** El IMCYC; (2006a), dice que los materiales principales que se usan para producir bloques son el cemento, la arena, grava, la piedra triturada y diversos agregados, entregados a las plantas productoras en camión o tren. Estos materiales se almacenan en los patios, y después son movidos conforme se van necesitando a las tolvas. Algunas fábricas emplean cintas o bandas de transporte y acumuladores o transportadores verticales.
- **Dosificación y mezclado.** El mismo instituto explica que las materias primas que se encuentran en las tolvas de almacenaje son transportadas para cada mezclada y pesadas para asegurar la consistencia del producto deseado. Las mezcladoras son grandes cilindros, con aspas de mezclado adheridas a un eje horizontal que atraviesa el cilindro de lado a lado. Los materiales son mezclados

en seco por varios minutos y luego se agrega agua a la mezcla seca utilizando un medidor electrónico, de agua para garantizar la consistencia. A la mezcla debe añadirse una mínima cantidad de agua porque debe quedar con una consistencia semiseca de cero revenimientos. Hay aditivos de cohesión nuevos en el mercado, como reductores de agua o colorantes, entre otros que también son agregados junto con el agua. Después de mezclar por un rato, se revisa la consistencia automáticamente y si es necesario se pone más agua, entonces, la mezcla es revuelta de cinco a ocho minutos más.



Figura 16. Mezcladora de eje horizontal utilizado en la producción de bloques, concretos, etc. Fuente: Industrias Molser, (2013)

- **Moldeado.** La institución mencionada anteriormente indica que, una vez realizada la mezcla, se lleva a la maquina bloquera, en donde se vacía en moldes (hechas de placas divisorias, marco o caja/chasis con forros) después, la mezcla de concreto es compactada y consolidada usando una combinación de presión y vibración controladas. Dependiendo del modelo de bloque que se dese fabricar (piezas para entresijos/bovedilla, adoquines y sofisticados productos arquitectónicos utilizando el mismo equipo en una sola fábrica), se puede cambiar el tipo de molde. Algunas máquinas boqueras usan moldes con la

capacidad de producir hasta seis bloques tamaño estándar (20 x 20 x 40 cm) por ciclo y pueden elaborarse más de 3,240 bloques por hora.

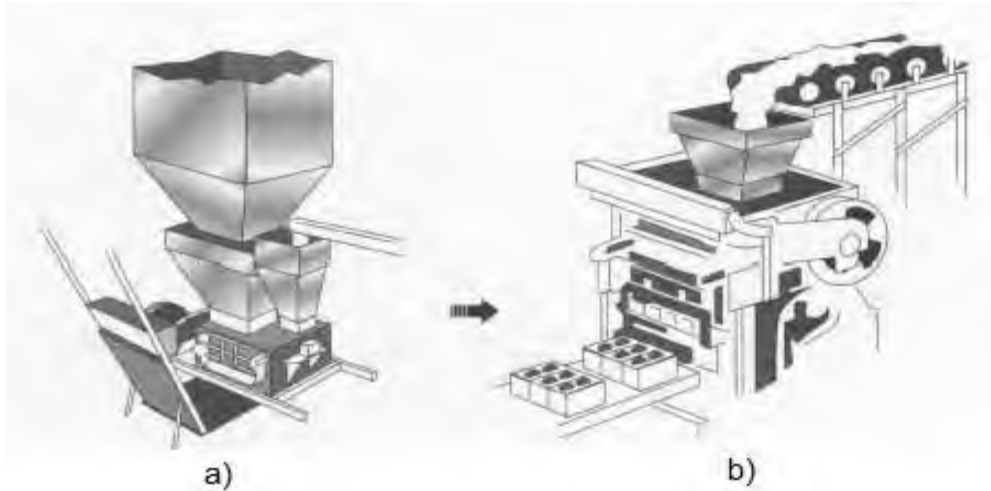


Figura 17. Maquinaria utilizada en la producción de bloques a) Tolva pesadora b) Máquina bloquera. Fuente: How products are made, (2018)

- **Curado.** Una vez sacados los bloques del moldeo, se almacenan en pallets y se llevan a cámaras de fraguado u hornos en los que se les da un curado al vapor (descrita en la sección 2.1.9) después de que termina el curado, los bloques son almacenados (How products are made, 2018).



Figura 18. Construcción con bloques de concreto. Fuente: González, (2018)

2.7 Características de los materiales usados en la mampostería

2.7.1 Absorción total de agua

García, (2017) define la absorción total de agua de un bloque o mampuesto es la capacidad de absorción de esta, y es el cociente entre el peso de agua que se absorbe durante 24 horas y su propio peso cuando está seco. Entonces se expresa en un porcentaje según la siguiente formulación (1) (ONNCCE, 2005):

$$A = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} * 100 \quad (1)$$

En donde:

A = El porcentaje de absorción de agua.

M_s = Masa seca del espécimen en kg.

M_{SSS} = Masa saturada y superficialmente seca en kg.

2.7.2 Conductividad térmica

Es una propiedad física que describe la capacidad de un material de transferencia calor (λ con unidades $W/ m \cdot K$). La energía térmica fluye de manera espontánea de mayor a menor concentración, es decir, de caliente a frío dando lugar a un gradiente de temperatura.

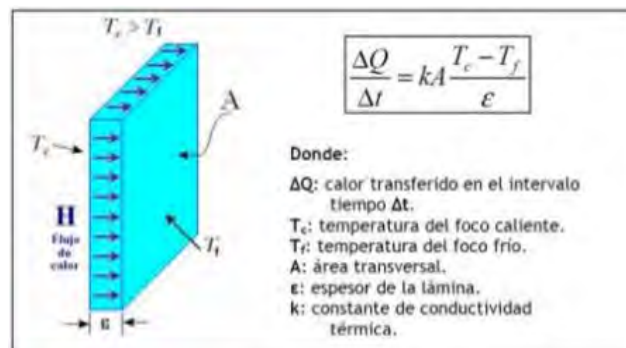


Figura 19. Formula de Ley de Fourier. Fuente: Torres, Aizprúa y Espinosa, (2014)

Con la ley de Fourier se puede obtener la conductividad térmica dada por conducción, la cual establece que la diferencia de temperaturas entre dos puntos de un material (gradiente de temperatura) tiene proporcionalidad con el flujo de energía (watts, j/s) además intervienen el espesor y área del material (Franco, 2018).

2.7.3 Granulometría

La granulometría es la medición de la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo, es decir, el cálculo de la abundancia correspondiente de cada uno de los tamaños previstos en una escala granulométrica, el fin del análisis es saber el origen del suelo y de sus propiedades mecánicas porque afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto (usados en bases o subbases de carreteras, presas de tierra o diques, drenajes, etc.). El método para determinar la granulometría más sencillo es obtener las partículas en una serie de mallas de distintos anchos de entramado, que actúen como filtros de los granos que se llama comúnmente columna de tamices (Escuela de Ingeniería en Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 1976).

2.7.4 Densidad aparente

La EcuRed; (2017), define como la densidad aparente, la relación entre el volumen y el peso seco de un cuerpo o material incluyendo huecos y poros que contenga, aparentes o no.

La densidad aparente es un parámetro esencial para diferenciar la conductividad de familias de materiales muy semejantes, como los concretos, áridos y aislantes. Hay una ley general que relaciona las conductividades bajas con las bajas densidades, por el motivo que la ligereza del material puede estar asociada a los huecos en su interior ocupados por aire, por ende, más aislante que un material sólido. Esta propiedad permite asociar los valores de la conductividad a partir de los valores de las densidades ligeras determinadas (Monroy et al., 2000).

2.7.5 Resistencia a la compresión

El IMCYC; (2006b), dice que la resistencia a la compresión del concreto es la prueba más común que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras por ende, la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. Esta prueba se mide reventando probetas cilíndricas de concreto con una máquina (prensa para ensayos de compresión), por lo tanto, la resistencia a la compresión se obtiene calculado la carga de ruptura (obtenida de la prensa al reventarse la muestra) dividida entre el área de la sección que resiste la carga y se reporta en mega pascales (MPa) o kg/cm^2 . Fundamentalmente estas pruebas de resistencia a la compresión de usan para determinar que la mezcla de concreto cumpla con especificaciones de la resistencia requerida para el proyecto, utilizándolas para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimas la resistencia del concreto, evaluar el curado y protección de la estructura.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto se llevó a una metodología con el siguiente esquema metodológico:

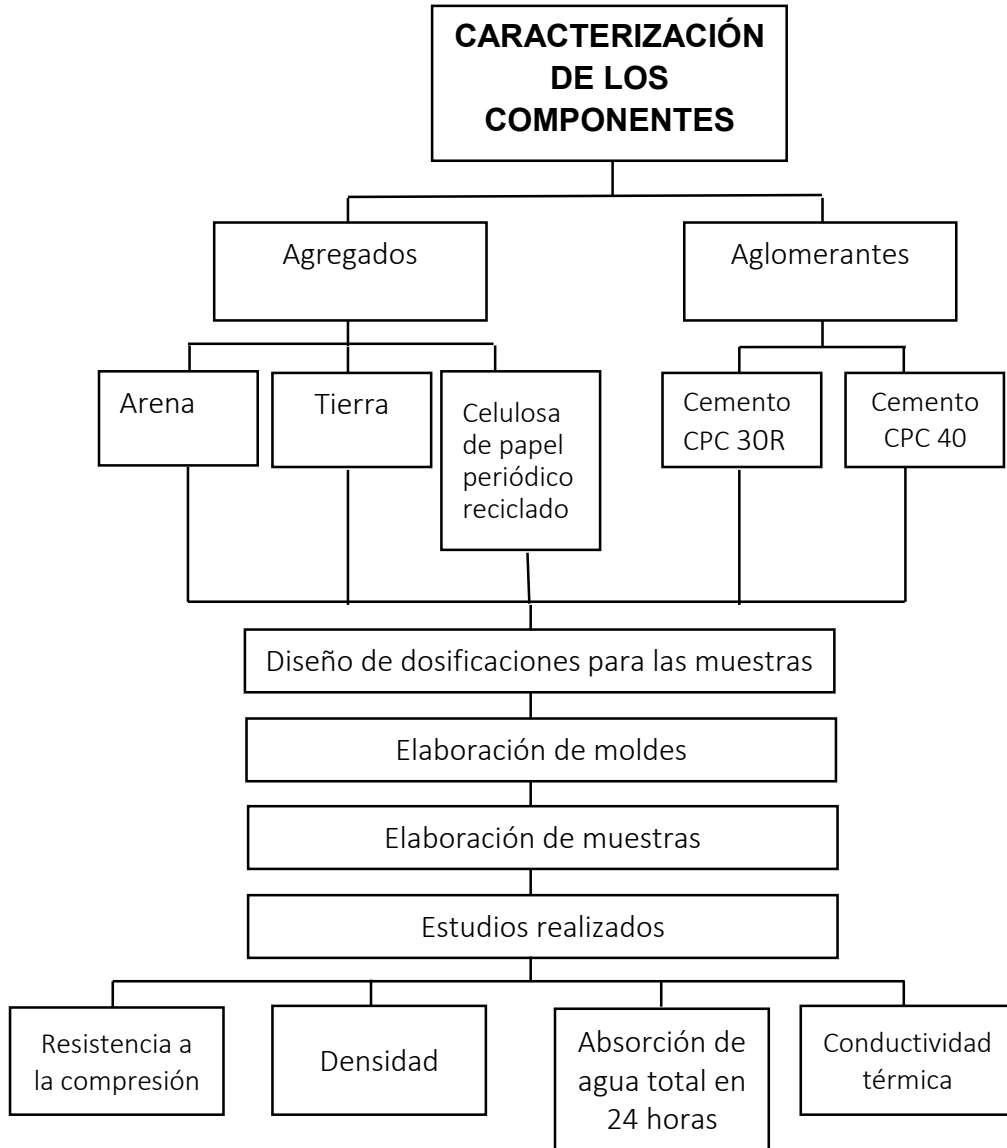


Figura 20. Esquema de metodología

3.1 Preparación de la materia prima

3.1.1 Cemento

- a) **Cemento CPC 30R (cemento portland compuesto).** Se escogió la utilización de este tipo de cemento porque se vende comúnmente en ferreterías de la comunidad (sacos de 50 kg) y se utiliza en la construcción para todo tipo de elementos o estructuras de concreto simple o armado además, es compatible con todos los materiales de construcción convencionales logrando excelentes resultados de castillos, zapatas, losas, columnas, etc. (CEMEX, 2017).
- b) **Cemento CPC 40.** Una vez se pudo obtener este tipo de cemento vendido únicamente a granel, se decidió utilizarlo, en la tercera etapa de muestras porque, ofrece una mejor resistencia a la compresión y ayuda a reducir el agua a utilizar además de que es utilizado por la industria de la construcción en realización de prefabricados, bloques o tabiques(Corporación Moctezuma S.A.B. de C.V., 2013).

3.1.2 Celulosa reciclada

Para obtener la celulosa necesaria en el proyecto se optó por utilizar papel periódico por su fácil acceso, manejo y bajo precio. El proceso de elaboración de la celulosa consistió en los siguientes pasos:

- 1) El papel periódico se cortó en tiras delgadas con una trituradora de oficina común.
- 2) Las tiras se saturaron con agua (seis litros por kilogramo de papel periódico) en tu bote de plástico. El papel de dejó reposar por 3 días para que fuera más fácil y en menos tiempo el desfibrado del periódico.
- 3) Una vez que pasaron los 3 días de remojado, el papel periódico se desfibró con una batidora de pintura anclada en un taladro y se batió el papel a una velocidad constante por 10 ± 3 minutos hasta que se logró una pulpa de celulosa homogénea.

- 4) Obtenida la pulpa, se le vertió agua caliente para la remoción de tintas y se retiró el excedente de agua
- 5) Por último, se almacena en bolsas.

3.1.3 Humedad de la tierra y arena

La tierra empleada en el proyecto fue escogida porque tiene una granulometría que ayuda a obtener una mejor resistencia a la compresión, además, de poseer arcilla la cual ayuda a que en el momento de desmolde de las muestras no se desbaraten y den un mejor acabado al secarse.

Se optó por emplear la arena de río por la facilidad para encontrarla en la ciudad igualmente, porque es muy utilizada para fabricar mampuestos (mampuestos, blocks) y en la construcción en general.

Para obtener el porcentaje de la humedad que contiene la tierra y arena se emplearon tres muestras de 100 gramos de arena y tierra, además, de una muestra de 500gr por cada árido, se pesó estando recién comprada y sin alteraciones, las muestras de tierra se colocaron en un horno a 105 °C por 24 horas y las de arena se secaron por el método del plato caliente, la norma ASTM C 566-97 explica que se realiza con un plato caliente (hot plate) se le vierte alcohol a la muestra hasta cubrirla, se bate y se deja reposar hasta que el alcohol se vea claro y se retira su exceso sin perder partícula por último, se deja consumir el alcohol y se seca la arena en su totalidad (ASTM, 2004). Al tener las muestras secas se pesaron cada una de ellas (cuando se enfriaron) y se utilizó la siguiente fórmula (2) para obtener el porcentaje de humedad (Echeverri, Medina, Restrepo, y Urrego, 2016).

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Donde:

w =Contenido de humedad expresado en %.

W_w =Peso del agua existente en la masa de suelo.

W_s =Peso de las partículas solidad.

3.1.4 Densidad aparente

- 1) **Tierra y arena.** La densidad aparente se obtuvo gracias a la prueba del matraz de 100 ml, se utilizó tierra y arena secada al horno por 24 horas a una temperatura de 105 °C. El matraz se pesó vacío y se le colocó el árido seco después, se dan tres golpecitos al matraz teniendo cuidado de que el árido no se pasara de la raya de 100ml. Por último se volvió a pesar el matraz con la tierra y/o arena, se obtuvo la diferencia de pesos entre el matraz vacío y con la tierra (se hace lo mismo con la arena), para obtener la densidad se aplica la siguiente formula (3)(Rojas, 2007):

$$Densidad\ aparente = \frac{peso\ seco\ suelo\ (gr)}{volumen\ (ml)} \quad (3)$$

- 2) **Densidad aparente de las muestras.** La densidad de las muestras se obtuvieron a partir de calcular el volumen de la muestras realizadas para determinar la resistencia a la compresión, midiendo sus dimensiones con un vernier de calibración 0.02 mm, una regla L y una escuadra como lo indica la norma NMX-ONNCCE-C-038 (Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o mampuestos y tabicones – Método de ensayo). Respecto a la masa de las muestras se obtuvieron con una báscula de variación 1 gramo (ONNCCE, 2013b).

3.1.5 Granulometría de tierra y arena

La granulometría es la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo. Este ensayo es importante, porque de este análisis depende gran parte de los criterios de aceptación de suelos, utilizados en bases para carreteras, presas de tierra, drenajes, etc. La granulometría de la arena y tierra se llevó a cabo en Laboratorio de Ingeniería Civil de UABC Ensenada, teniendo en como referencia a norma ASTM C136, C177 y E11 para agregados finos. Para obtener la granulometría se usaron los tamices; 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4", no. 4, no. 10, no. 20, no. 40, no.60, no.100 y no. 200. Lo primero que se hizo fue secar las muestras en un horno por 24 horas con una temperatura de 110 °C, una vez que los áridos se enfriaron, se colocó por separado, 2523.1 gr de tierra y 2599.9 gr de arena en la torre de tamices siguiendo el vibrado mecánico por 10 minutos, se procedió a pesar lo que quedó en cada tamiz, por último, se obtuvieron los porcentajes de retención y paso de árido en cada tamiz.

Para obtener el porcentaje de finos que pasan por la maya no. 200 se usó el método de lavado, consistido en que, una vez conociendo el peso retenido por en el tamiz no.200 de la muestra ensayada, ésta se vertió en un recipiente, se le agregó suficiente agua limpia para revolverla y decantarla, cada vez que se decantaba de vertía el agua turbia en el tamiz, por lo que se necesitó decantar el árido varias veces hasta que es agua quedó clara sin áridos. Para secar esta muestra se dejó en un horno a 110 °C por 24 horas hasta una masa constante y se procedió a pesarlo para obtener el porcentaje que pasó por este tamiz para realizar la curva granulométrica (ASTM, 2012, 2015; Newark Wire Cloth Company, 2018).

Para clasificar los tipos de áridos que se usaron en la realización de las dosificaciones se utilizó el sistema de clasificación de suelos SUCS (cuadro 4) y la prueba de granulometría realizada a los áridos.

Cuadro 4. Clasificación de suelos SUCS. Fuente: González, (2003)

DIVISIONES PRINCIPALES		Símbolos del grupo	NOMBRES TÍPICOS
SUELOS DE GRANO GRUESO	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Gravas limpias (sin o con pocos finos)	GW Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
			GP Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.
		Gravas con finos (apreciable cantidad de finos)	GM Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.
			GC Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas limpias (pocos o sin finos)	SW Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
			SP Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.
		Arenas con finos (apreciable cantidad de finos)	SM Arenas limosas, mezclas de arena y limo.
			SC Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.
SUELOS DE GRANO FINO	Limos y arcillas: Límite líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, o limos arcillosos con ligera plasticidad.
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.
		OL	Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.
	Limos y arcillas: Límite líquido mayor de 50	MH	Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos.
		CH	Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos.
Suelos muy orgánicos		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.

3.2 Diseño y elaboración de las muestras

En un principio, el proyecto era el diseñar una mezcla con plástico reciclado triturado, pero dado los inconvenientes como, la maquinaria necesaria, insumos y cuidados para la maquinaria, solo se podría usar una sola variedad de plástico con un alto precio por kilo y una granulometría grande por lo que, la mezcla tendría un

precio muy elevado. Reconociendo estos problemas, se decidió probar cómo se desempeñaba la celulosa de papel periódico reciclado a distintas dosificaciones con dos tipos de áridos: tierra y arena. El cemento CPC 30R se escogió su utilización, por la abundancia de comercios que lo venden a cualquier persona.

Los porcentajes (15%, 10% y 5%) de celulosa fueron en función del peso en seco de cada mezcla, teniendo en cuenta otra variante; el prensado de las muestras a 2 y 4 toneladas. En cuanto a la proporción de cemento/arena fue de 0.21 (se realizaron muestras de valor de referencia o testigos, usando solamente cemento/arena porque los bloques que se comercializan en la localidad utilizan estos materiales) y de cemento/tierra fue de 0.25. Cabe destacar que se decidió de esta forma por revisiones bibliográficas, los ensayos realizados y consejos de los asesores.

La realización de las muestras se dividió (ver cuadro 5) en tres etapas:

La primera etapa tuvo la finalidad de reconocer el árido (tierra o arena) que mejor se desempeñaba en la resistencia a la compresión y diera cohesión en la mezcla. Los porcentajes de celulosa que se usaron en esta etapa fueron de 15, 10 y 5% de celulosa además, de tierra y arena prensadas a 2 y 4 toneladas.

En la segunda etapa se usaron las dosificaciones con 15, 10% de celulosa y testigos de arena prensados a 2 toneladas, se probó la resistencia a la compresión, absorción de agua total en 24 horas, conductividad térmica y densidad.

Para realizar las muestras de la etapa tres se tuvo la oportunidad de usar el cemento CPC 40 (Usado comercialmente para prefabricados) por lo que se decidió determinar la resistencia a la compresión, densidad y absorción de agua total en 24 horas en muestras con las dosificaciones de 15, 10% de celulosa con tierra y testigos de arena prensadas a 2 toneladas.

Cuadro 5. Dosificaciones y repeticiones de las muestras con arena y tierra

Prensado de las muestras Ton		Celulosa en muestras										Testigos de arena sin celulosa				
		15%					10%								5%	
4	2	ARENA		TIERRA			ARENA		TIERRA			ARENA		TIERRA		
		1ra Etapa	1ra Etapa	2da Etapa	3ra Etapa		1ra Etapa	1ra Etapa	2da Etapa	3ra Etapa		1ra Etapa	1ra Etapa			
		Cilindro	Cilindro	Bloque hueco	Bloque hueco	Cilindro	Cilindro	Cilindro	Bloque hueco	Bloque hueco	Cilindro	Cilindro	Cilindro	Bloque hueco	Bloque hueco	Cilindro
A-4,5,6	A-1,2,3						A-7,8,9						A-13,14,15			
T-4,5,6	T-1,2,3						T-7,8,9						T-13,14,15			
	T2-1,2,3							T2-4,5,6								
	T3-1,2,3							T3-6,7,8								
	T3-3,4,5							T3-9,10,11								
A-10,11,12	A-7,8,9															
T-10,11,12	T-7,8,9															
A-16,17,18	A-13,14,15															
T-16,17,18	T-13,14,15															
Te-4,5,6	Te-1,2,3															
Te2-5,6,7	Te2-1,2,3															
Te3-5,6,7	Te3-1,2,3															
Te3-12,13,14	Te3-8,9,10															

3.3 Elaboración de muestras para prueba de resistencia a la compresión, absorción de agua total en 24 horas, densidad y conductividad térmica

Las muestras de la primera etapa se realizaron con un tubo cilíndrico de fierro lijado con medidas internas de 29.6 cm de largo x 9 cm de diámetro, en el cual se le colocaba la mezcla y se le introducía otro cilindro de medidas 31.7 cm de largo por 8.1 cm de diámetro con los fondos tapados para que una prensa se amoldara y le ejerciera la presión deseada (figura 21a y 21b), resultando el cilindro. Al desmoldar se usó la misma prensa para sacar la muestra cilíndrica del tubo. La prensa que se utilizó fue una industrial que ejerce hasta 20 toneladas de presión con un manómetro (figura 21c).

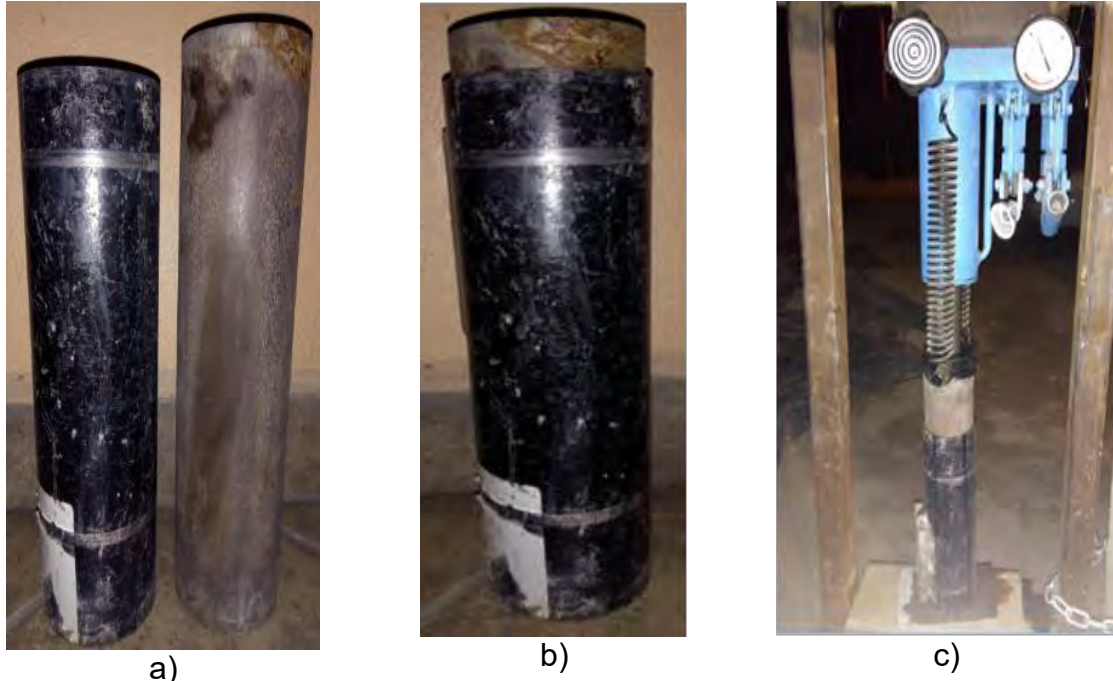


Figura 21. Moldes para las muestras cilíndricas, a) Moldes cilíndricos, b) Cilindros posicionados para ponerse en la prensa, c) Prensa ejerciendo presión al molde

El mezclado es un factor importante dentro de la mezcla porque da homogeneidad, es decir, la correcta integración de la materia prima para que alcance las características deseadas por lo que las mezclas de batieron en una carretilla a pala, después, la mezcla se colocaba en un balde y con una batidora de pintura enganchada a un taladro, se terminaba de batir con un tiempo estimado a los 10 ± 3 minutos en total (figura 22 y 23).



Figura 22. Mezcla batida con la pala



Figura 23. Mezcla batida taladro y batidora de pintura

Las dimensiones de todas las muestras fueron de 8.5 cm de diámetro por 7 cm de largo medidas tres veces para evitar errores y las muestras que estaban más largas se cortaron con una esmeriladora de guillotina.

En la primera etapa de muestras se realizaron 42 muestras, con 2 y 4 toneladas de presión; 18 con tierra y 18 con arena, 6 muestras fueron los testigos hechas con arena (tres muestras para cada dosificación y presión de prensado) se decidió usar solo arena para los testigos porque es del material con el que se hacen mayormente los bloques además, con la finalidad de reducir muestras por la dificultad de la transportación, tiempo para probarlas y para escoger las mejores mezclas. Una vez que se obtuvieron los resultados de resistencia a la compresión, se realizó la prueba de absorción de agua total en 24 horas con las muestras elaboradas de tierra y 15%, 10% de celulosa, además de testigos, prensados a 2 y 4 toneladas (tres repeticiones para cada dosificación y pruebas ensayadas).

Para realizar las muestras de la segunda se realizaron bloques huecos (utilizadas en pruebas de resistencia a la compresión y absorción de agua total en 24 horas) con una bloquera compactadora casera (figura 24) en la que se obtienen dos bloques a la vez, cuyas medidas (cada bloque) fueron de 26.2 cm de largo x 13.2 cm ancho x 8 cm de alto, con dos huecos de 7.7 cm de largo por 5.1 cm de ancho y 8 cm de alto cada uno, se usó la misma prensa utilizada para realizar los cilindros y todas las muestras fueron prensadas a 2 toneladas.

Para crear los especímenes utilizadas en la prueba de conductividad térmica se modificó la bloquera, se colocó (con soldadura) un nuevo molde y una placa más grande en la base del pisón, generando muestras en forma de placas con medidas de 2.5 cm de espesor por 30 cm de largo por 30 cm de ancho (± 3 mm). Las dosificaciones que se utilizaron en esta etapa fueron tres repeticiones de muestras con 15 y 10% de celulosa y testigos de arena para cada prueba además, del tipo de espécimen necesitado.

En cuanto a la tercera etapa se realizaron bloques huecos y cilindros con las mismas dimensiones que las muestras de la primera y segunda etapa, prensadas a 2 toneladas y las pruebas que se realizaron fueron resistencia a la compresión y absorción de agua total en 24 horas. Las dosificaciones que se manejaron en esta etapa fueron tres repeticiones de muestras (para cada prueba a ensayada) con 15 y 10% de celulosa y testigos de arena.

La densidad de muestras en las tres etapas, se obtuvo a partir de las que se realizaron para la prueba de resistencia a la compresión.



Figura 24. Elaboración de los bloques con la bloquera y la prensa

3.3.1 Curado de las muestras

El curado de las muestras hechas de cemento se hizo por siete días, el primer paso consistió en no dejar que el sol seque prematuramente y no fragüen correctamente, generando grietas u otros defectos, muchas personas tapan los mampuestos con lonas o almacenan las piezas en cuartos (cámaras de fraguado), lo que se eligió fue construir una cámara de fraguado de madera (figura 25). El segundo paso fue rosear

o remojar con agua limpia las piezas una vez al día, una vez pasados los siete días se dejaron secar en la cámara de fraguado hasta los 28 días para realizar las pruebas (Gatani, 2000).



Figura 25. Cámara de fraguado de madera

3.4 Estudios realizados a las muestras

3.4.1 Resistencia a la compresión y densidad

Una de las pruebas más importantes es la de resistencia a la compresión la cual se hizo en el laboratorio de Ingeniería Civil del Instituto Tecnológico Superior de Puerto Peñasco (ITSP) con una prensa tipo MC-400PR (*Concrete Compression Testing Machine with Pro-Plus Controller*) de 5 toneladas de capacidad de compresión (figura 26), ejerciendo una carga continua sobre la muestra a una velocidad nominal de 1.5 mm/min, velocidad controlada electrónicamente hasta completar la ruptura de la misma. Las muestras en la *primera etapa* fueron cilíndricas con un total de 42, tres de cada tipo de mezcla (15, 10, 5 por ciento de celulosa prensadas a 2 y 4 toneladas) además de que para la segunda etapa se hicieron 9 mampuestos huecos (eran 3 muestras para cada dosificación de 15%, 10% de celulosa con tierra y testigos sin celulosa con arena prensadas a 2 toneladas) realizadas con cemento cpc 30R. La *etapa tercera* tuvo la finalidad de conocer el desempeño del cemento

cpc 40, realizándose 9 mampuestos huecos (3 con 15%, 3 con 10% de celulosa con tierra y 3 de testigo sin celulosa con arena prensadas a 2 toneladas) además, de 9 cilindros (3 con 15%, 3 con 10% de celulosa con tierra y 3 de testigo sin celulosa y arena prensadas a 2 toneladas). Esta prueba se hizo tomando en referencia la norma mexicana ONNCCE C-036-2013 a los 28 días de fraguado. La prueba de densidad se realizó como esta descrito en el apartado 3.1.4 de todas las muestras realizadas (en tres etapas) antes de probarse la resistencia a la compresión.



Figura 26. Ejerciendo presión en una muestra con la prensa del Laboratorio de Ing. Civil del Instituto Tecnológico Superior de Puerto Peñasco (ITSP).

3.4.2. Absorción total de agua en 24 horas de las muestras

Esta prueba se realizó en la primera, segunda y tercera etapa, con el agregado de tierra, prensados a 2 toneladas (en el caso de la primera etapa las muestras se prensaron a 2 y 4 toneladas), porque genero menos desperdicios al realizar las muestras, dio cohesión a la mezcla y tuvo un buen desempeño en la resistencia a la compresión de la primera etapa de muestras. El número de muestras que analizaron fueron tres para cada dosificación. Una vez realizadas las muestras de ensayo, se curaron y a los 28 días, de acuerdo con la norma NMX-C-037-ONNCCE, 2005 (Industria de la construcción. Bloques, mampuestos o tabicones y tabiques-

Determinación de la absorción de agua y absorción inicial de agua), estas fueron puestas en un horno a una temperatura de 110 °C por 24 horas, una vez frías, se pesaron tres veces cada una, para reducir errores de lectura, en una báscula con precisión mínima de 20 gr después, todas las muestras se sumergieron en agua limpia por 24 horas, ya pasado el tiempo, se les secó el exceso de agua con un trapo limpio antes de pesarse nuevamente en la báscula, dando la diferencia de los pesos entre secas y húmedas, como la cantidad de humedad que absorbieron los especímenes. La siguiente formula (5) es la que se empleó:

$$A = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

A = Es la absorcion en %.

M_{SS} = Es la masa seca del espécimen en kg.

3.4.3 Conductividad térmica

Para obtener la conductividad de las muestras relajadas en la segunda etapa de muestras, se solicitaron los servicios del Laboratorio de Sistemas Térmicos y Eléctricos del Instituto de Ingeniería en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) del campus Mexicali. La prueba se realizó con el medidor de calor LaserComp Fox 300 aplicando el método de la norma ASTM C 518-1991, el cual es utilizado como método estándar para mediciones de flujo de calor en estado estable y propiedades térmicas de transmisión por medio de aparatos medidores de flujo de calor. También se aplicaron las normas ASTM C 1045-1990, ASTM C 1132-1989 y ASTM C 1058-1992 en el desarrollo de las pruebas.

Para mantener los flujos de calor dentro de los límites del aparato se introdujeron las muestras formando resistencias en serie con dos placas de poliestireno (arriba y abajo). A una placa de poliestireno testigo se le determinó su conductividad térmica en las mismas condiciones de temperatura. El valor de la conductividad térmica de las muestras de material se calculó a partir de los valores de la conductividad térmica medida total de las muestras- poliestireno y de la medida para

el poliestireno solo. En el sistema compuesto el espesor promedio de la placa de material ligero fue de 2.52 cm (0.99 pulg) y el espesor promedio de la placa de poliestireno fue de 2.46 cm (0.97 pulg).

De acuerdo con la norma ASTM C 1058-92 se seleccionaron como temperaturas medias de 4°C (40°F), 10°C (50°F), 24°C (75°F) y 38°C (100°F), que son las que se recomiendan para aislantes a utilizar en edificaciones.

La norma ASTM C 1132-89 descrita como práctica estándar para calibración de aparatos medidores de flujo de calor, indica que para aparatos cuyos parámetros individuales son alimentados y controlados mediante computadora (como en el caso del presente estudio), los mismos principios del método son aplicables pero la calibración debe seguir las instrucciones del fabricante. El método indica que los aparatos deben ser calibrados veinticuatro horas antes o después de una "prueba de certificación", usando patrones de calibración que han sido proporcionados o cuyos valores han sido establecidos por un laboratorio nacional de estándares reconocido. Para este caso, se cuenta con un patrón certificado de poliestireno el cual fue probado por LaserComp con un instrumento calibrado con un espécimen medido en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST).

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Densidad aparente

a) Tierra y arena

Para obtener la densidad aparente de la tierra y arena se realizó las pruebas como se indicó en el apartado 3.1.4 los resultados se muestran en el cuadro 6:

Cuadro 6 Densidad aparente de tierra y arena

MATERIAL	DENSIDAD APARENTE
Arena de río	1.67 g/cm ³
Tierra	1.471 g/cm ³

De acuerdo a Peña, (2016), las densidades de agregados ligeros es de 460 a 1300 kg/m³ y los agregados normales están entre 1300 y 2000 kg/m³ (cuadro 7). Entonces se puede decir que la clasificación de los agregados usados en esta investigación es normal.

Cuadro 7. Clasificación del agregado. Fuente: Peña, (2016)

	DENSIDAD APROXIMADA DEL AGREGADO (kg/m ³)	VARIETADES MÁS COMUNES DE LOS AGREGADOS	EJEMPLO DE USO
Liviano	460-1300	Pizarras expandidas, escoria, arcilla	Concretos livianos, estructurales
		Piedra pómez, perlita	Concreto para aislamiento
Normal	1300-2000	Arena, grava, piedra triturada, Clinker, escoria de fundición	Estructuras de concreto general
Pesado	2000-5600	Limadura de acero, hierro, magnetita	Concretos para macizos de anclaje, concreto para protección radiaciones

b) Muestras de la primera, segunda y tercera etapa

Al analizar los pesos de cada muestra cilíndrica y su relación con el resultado a la resistencia a la compresión se observó que los cilindros y bloques huecos pesan menos cuando tienen un porcentaje mayor de celulosa, además, de que influye el prensado de las muestras al necesitar un mayor (4 toneladas de prensado) o menor (2 toneladas de prensado) volumen de material para cada muestra. La norma ONNCCE-NMX-C-251-1998 define como concreto ligero aquel que tiene una densidad menor de 1800 kg/m³, por lo tanto, se puede decir que todas las dosificaciones son consideradas concreto liviano exceptuado los testigos de arena cilíndricas prensados a 2 y 4 toneladas (cuadro 8).

Cuadro 8. Densidad en kg/m³ de las muestras de todas las etapas

Prensado de las muestras Ton		Celulosa en muestras										Testigos de arena sin celulosa					
		15%					10%									5%	
		ARENA		TIERRA			ARENA		TIERRA							ARENA	TIERRA
	1ra Etapa	1ra Etapa	2da Etapa	3ra Etapa		1ra Etapa	1ra Etapa	2da Etapa	3ra Etapa	1ra Etapa	1ra Etapa	1ra Etapa	2da Etapa	3ra Etapa			
	Cilindro	Cilindro	Bloque hueco	Bloque hueco	Cilindro	Cilindro	Cilindro	Bloque hueco	Bloque hueco	Cilindro	Cilindro	Cilindro	Bloque hueco	Bloque hueco	Cilindro		
2	1165	1305	1003	975	1182	1326	1416	1145	1158	1297	1517	1603	1881	1750	1748	1835	
4	1334	1411				1446	1525				1541	1679	1898				

4.2 Humedad de arena y tierra

Para obtener el porcentaje de humedad de los agregados usados en las muestras (tierra y arena) los procedimientos utilizados se describieron en la metodología. En el cuadro 9 se muestran los resultados para ambas muestras.

Cuadro 9. Porcentaje de humedad de los agregados usados

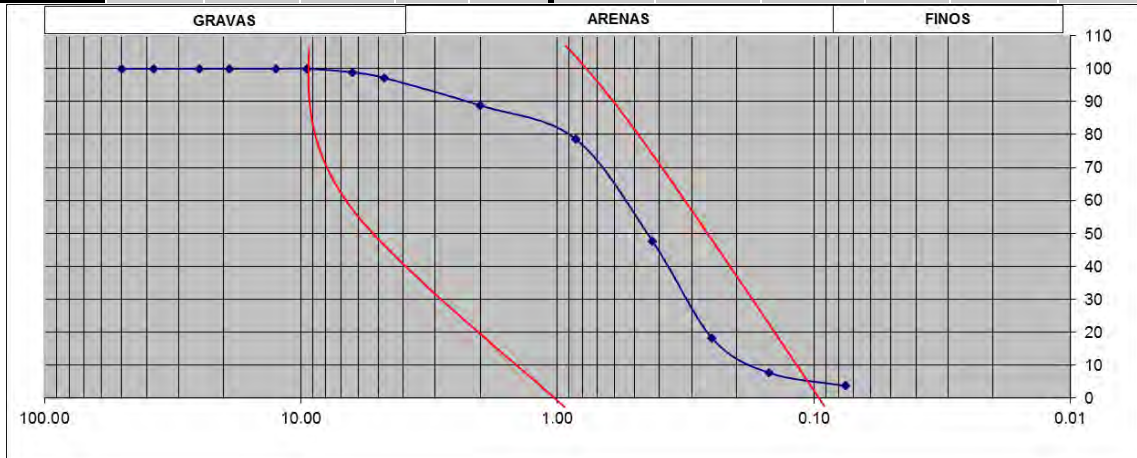
Material	Peso húmedo	Peso seco	Porcentaje de humedad
Arena	500 Grs.	497 Grs.	0.6%
	100 Grs.	99 Grs.	1%
	100 Grs.	99 Grs.	1%
	100 Grs.	100 Grs.	0%
Tierra	500 Grs.	481 Grs.	3.95%
	100 Grs.	96 Grs.	4.16%
	100 Grs.	96 Grs.	4.16%
	100 Grs.	96 Grs.	4.16%

4.3 Prueba de granulometría

Una vez obtenidas las curvas granulométricas de la tierra y arena que, se muestran en los cuadros 10 y 11, las dos muestras (tierra y arena) empleadas para esta prueba fueron clasificadas (clasificación SUCS) como suelos de partículas gruesas siendo arenas limpias con un poco de partículas finas SP. El autor Cortés; (2015), describe que este tipo de áridos, como un material con buenas características de compactación, buen drenaje y permeabilidad también, usado comúnmente de relleno estable y de tener un buen valor como pavimento subrasante.

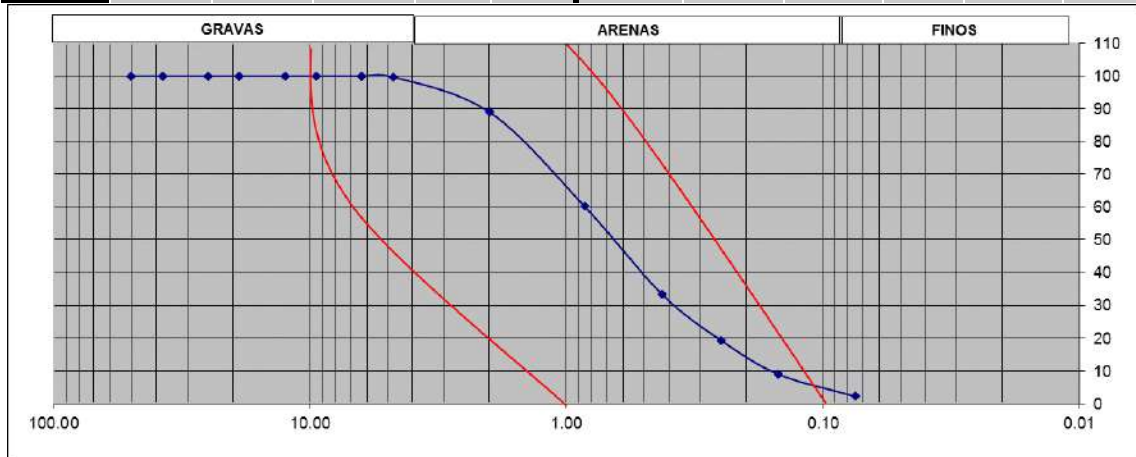
Cuadro 10. Granulometría de la arena, Fuente: UABC, Ensenada.

DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No.4						DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA No.4					
Malla	Abertura	Masa (g)	%	% ret.	% pasa	% resp. a muestra:					
No.	En mm.	Retenido	Retenido	Acum.	Acum.	Malla	Abertura	Masa (g)	%	% ret.	% pasa
2"	50.00	0.0	0	0	100	No.					
1 ½"	37.50	0.0	0	0	100	10	2.000	224.3	8.4	8.4	89
1"	25.00	0.0	0	0	100	20	0.850	271.9	10.2	18.6	79
¾"	19.00	0.0	0	0	100	40	0.425	833.8	31.2	49.8	47
½"	12.50	0.0	0	0	100	60	0.250	781.4	29.2	79.0	18
⅜"	9.50	0.0	0	0	100	100	0.150	283.0	10.6	89.6	8
¼"	6.30	27.9	1	1	99	200	0.075	107.8	4.0	93.6	4
No.4	4.75	43.8	2	3	97	P. No.200	0.075	97.7	3.7	97.3	4
Pasa No.4	4.75	2528.2	97	100	97	SUMA	2502.2	2599.9			
SUMA	71.7	2599.9				GRAVAS	2.76	ARENAS	93.6	FINOS	3.6



Cuadro 11. Granulometría de la tierra, Fuente: UABC, Ensenada.

DEL MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA No.4						DEL MATERIAL QUE PASA LA MALLA No.4					
Malla	Abertura	Masa (g)	%	% ret.	% pasa	% resp. a muestra:					
No.	En mm.	Retenido	Retenido	Acum	Acum.	Malla	Abertura	Masa (g)	%	% ret.	% pasa
2"	50.00	0.0	0	0	100						99.7
1 ½"	37.50	0.0	0	0	100	10	2.000	270.6	10.7	10.7	89
1"	25.00	0.0	0	0	100	20	0.850	730.1	28.8	39.5	60
¾"	19.00	0.0	0	0	100	40	0.425	677.2	26.8	66.3	33
½"	12.50	0.0	0	0	100	60	0.250	355.9	14.1	80.3	19
⅜"	9.50	0.0	0	0	100	100	0.150	260.3	10.3	90.6	9
⅛"	6.30	0.0	0	0	100	200	0.075	173.2	6.8	97.5	2
No.4	4.75	8.4	0	0	100	P. No.200	0.075	55.8	2.2	99.7	2
Pasa No.4	4.75	2514.7	100	100	100	SUMA	2467.3	2523.1			
SUMA	8.4	2523.1				GRAVAS	0.33	ARENAS	97.5	FINOS	2.2



4.3 Prueba de resistencia a la compresión

Esta prueba fue una de las más importantes para esta investigación porque ayudó a seleccionar las dosis y el árido que mejores resultados dieron (de muestras de la primera etapa), mismas que se usaron para realizar las muestras de la segunda y tercera etapa. Además, dentro de la industria de la construcción son las pruebas que más se realizan para determinar la calidad de mampuestos o concretos, entre otros.

La cantidad de agua, cemento, tierra y arena en las mezclas se decidió fijar gracias a ensayos previos con diferentes dosificaciones, las muestras que se desmoronaban rápidamente fueron desechadas, porque si se hubieran planeado

probar diferentes cantidades de agua, cemento, tierra y arena; para cada dosificación se hubiera agrandado demasiado el número de muestras a realizar, además, se complicaba la realización de pruebas y muestras por el equipo rudimentario o la falta del mismo.

Los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión de los cilindros de la primera etapa de prueba (figura 27) que, cumplieron los requerimientos mínimos de 35 kg/cm^2 para bloques de la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 (Industria de la construcción. Mampostería: bloques, tabiques o mampuestos y tabicones para uso no estructural –Especificaciones y métodos de ensayo) (cuadro 12) fueron los testigos prensados a 2 y 4 toneladas (figura 28c y 28d) también, las mezclas con tierra prensada a 2 toneladas (figura 28a) y 4 toneladas (figura 28b) además, de las muestras realizadas con arena prensada a 4 toneladas (figura 28d) para 5, 10 y 15% de celulosa asimismo, las muestras realizadas con este árido prensadas a 2 toneladas con 10 y 15% de celulosa (figura 28c), respectivamente.

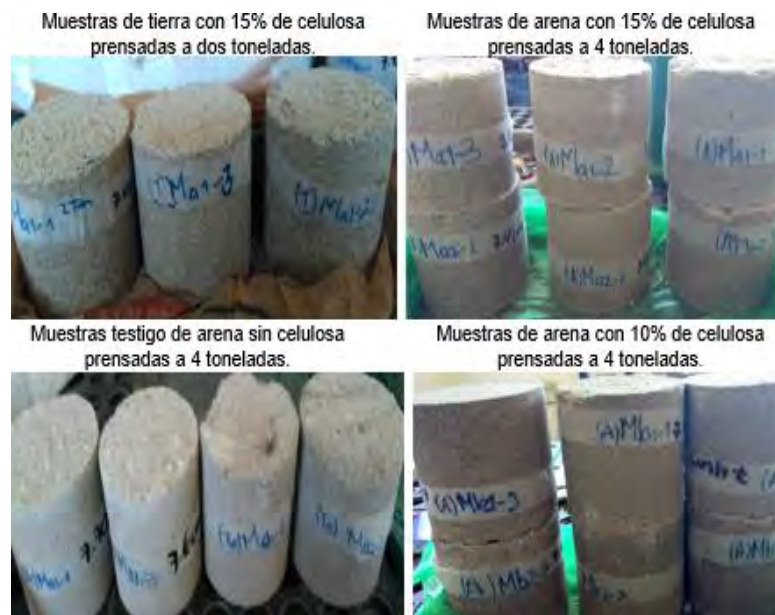


Figura 27. Algunas muestras cilíndricas

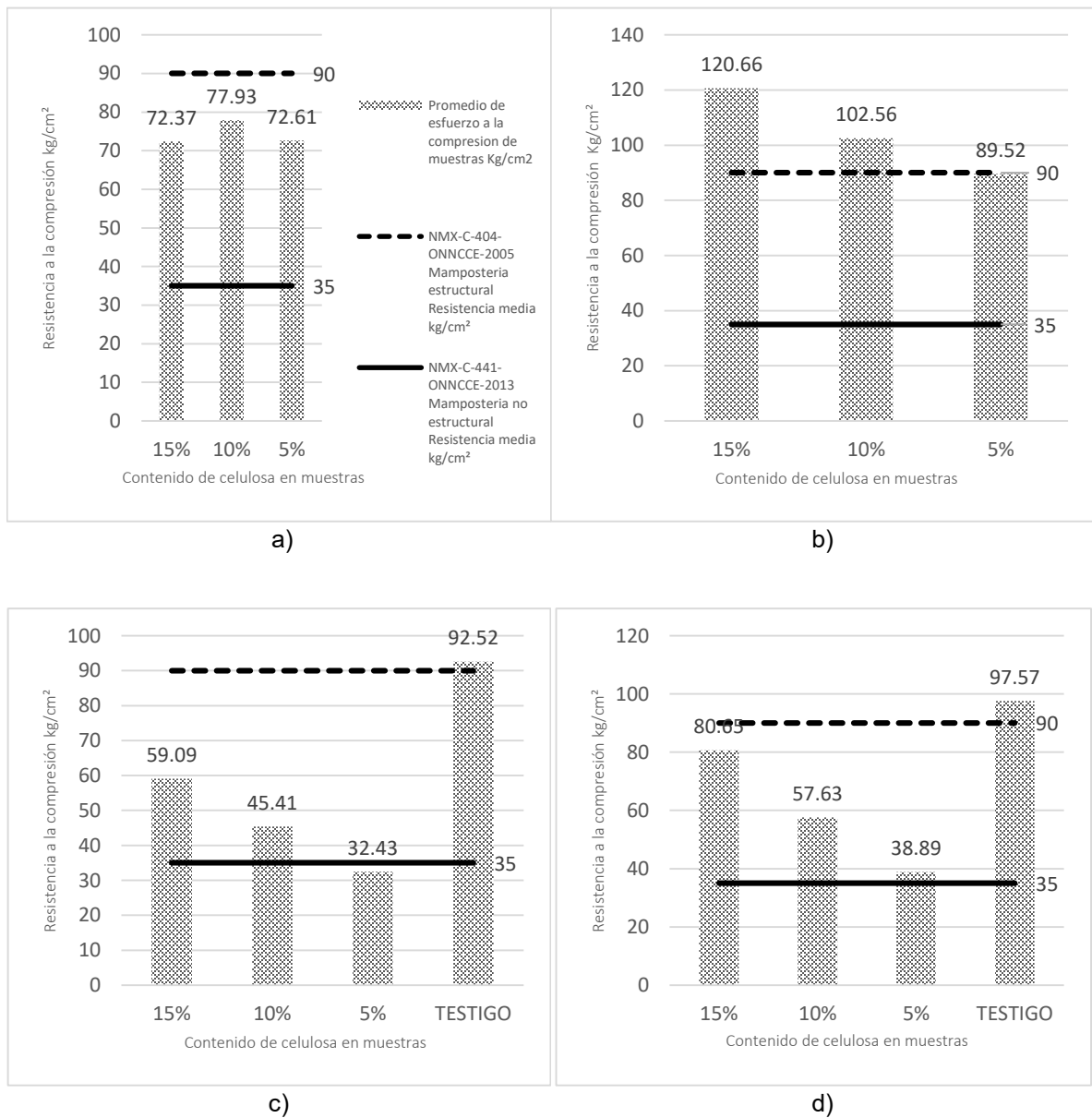


Figura 28. Relación del contenido de celulosa en las muestras de la primera etapa respecto a la resistencia a la compresión: a) Tierra prensadas a 2 toneladas, b) Tierra prensadas a 4 toneladas, c) Arena prensadas a 2 toneladas, d) Arena prensadas a 4 toneladas.

Cuadro 12. Resistencia a la compresión que debe tener la mampostería no estructural según la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 industria de la construcción. Mampostería –bloques, tabiques o mampuestos y tabicones para uso no estructural –Especificaciones y métodos de ensayo. Fuente: (ONNCCE, 2013c)

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media (kg/cm ²)	Resistencia mínima individual mínima (kg/cm ²)
Bloque	Macizo o hueco	35	28
Tabique extruido	Macizo o hueco	40	32
Tabique artesanal	Macizo	30	24
Pieza para celosía	Cara rectangular	25	20
	Cara no rectangular		

En cuanto en la comparación con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 Industria de la construcción – Bloques, tabiques o mampuestos y tabicones para uso estructural –Especificaciones y métodos de prueba (En el cuadro 13 esta norma señala la resistencia a la compresión mínima de diferentes mampuestos, se tomó al tabique hueco ≤ 300 mm como tipo de pieza para comprar con los resultados obtenidos). Las muestras que cumplieron la norma en mención fueron de tierra con celulosa al 15% y 10% prensadas a 4 toneladas (figura 28b) y testigos de arena prensadas con 2 y 4 toneladas (figura 28c y 28d), con más de 100 kg/cm² de resistencia a la compresión media. Las muestras de tierra con 15, 10 y 5 % de celulosa prensadas a 2 toneladas (figura 28a) además, las de arena con 15% de celulosa prensadas a 4 toneladas (figura 28d) pasan la resistencia individual de más de 70 kg/cm².

Cuadro 13. Resistencia a la compresión que deben tener la mampostería estructural según la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005 Industria de la construcción –Bloques, tabiques o mampuestos y tabicones para uso estructural– Especificaciones y métodos de prueba. Fuente: Flores, (2015)

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

Segunda etapa de muestras

Las dosificaciones que se seleccionaron para realizar las muestras en forma de bloque hueco fueron con tierra, además, de 15 y 10% de celulosa prensadas a 2 toneladas con testigos hechos de arena sin celulosa. El motivo fue por el rendimiento que obtuvo la tierra, los porcentajes de celulosa como agregados y densidad, el prensado fue fijado de esa manera por la maquinaria usada (estructura frágil). La cantidad de muestras fueron de tres repeticiones para cada dosificación con un total de nueve (las medidas de las muestras están en el apartado de metodología).

La arena no se tuvo en cuenta para realizar las otras etapas de muestras porque poseyeron una menor resistencia a la compresión, mal acabado de la muestra y poseían demasiada fragilidad al sacarse del molde (tienen que manejarse con extremo cuidado), generando desmoronamiento o desportillamientos, situación que no pasaba con la tierra.

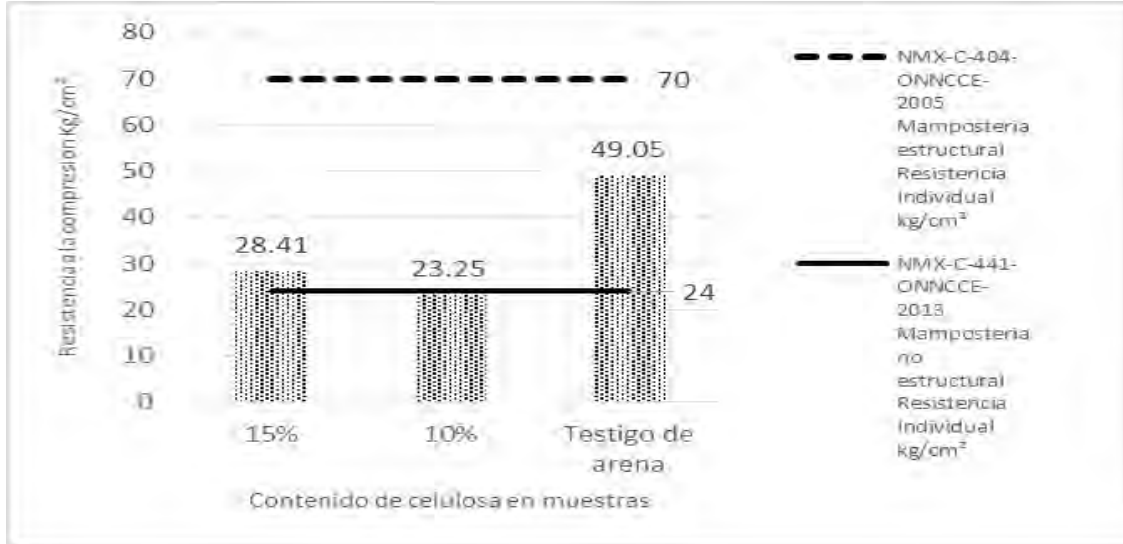


Figura 29. Relación del contenido de celulosa en las muestras con tierra de la segunda etapa prensadas a 2 toneladas respecto a la resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión media de las muestras con 15%, 10% de celulosa y testigos fue de 28.41, 23.25 y 49.05 kg/cm², respectivamente (figura 29), teniendo 28 días de fraguado por lo que, la mezcla con 15% de celulosa y testigos pasan la resistencia individual mínima para ladrillo artesanal (24 kg/cm²) requerida en la norma ONNCCE NMX-C-441 (cuadro 12), refiriéndose a los testigos de arena pasan los parámetros de esta norma. Los autores Revuelta y Gutiérrez; (2008), dicen que la resistencia del concreto aumenta con la edad, por lo que se podría decir que la resistencia a la compresión de las muestras aumentarían con el tiempo.

Tercera etapa de muestras

Los resultados obtenidos en los bloques huecos fueron mayores a 24 kg/cm² de resistencia a la compresión de todas las dosificaciones probadas (figura 30a) pasando los requerimientos mínimos de la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 (ladrillos artesanales de uso no estructural). Respecto a los cilindros todas las dosificaciones probadas tuvieron una resistencia a la compresión mayor de 35 kg/cm² cumpliendo con la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013 (bloques no

estructurales) y los testigos tuvieron un desempeño mayor de 90 kg/cm² (figura 30b) cumpliendo con la norma ONNCCE NMX-C-404 (bloques estructurales).

Comparando los resultados obtenidos en esta prueba con los de la segunda etapa (muestras hechas con cemento CPC 30R), aumentó la resistencia a la compresión en muestras con 15, 10% de celulosa y testigos respectivamente, además, aumentó la trabajabilidad y proporcionó un mejor acabado estético a las muestras.

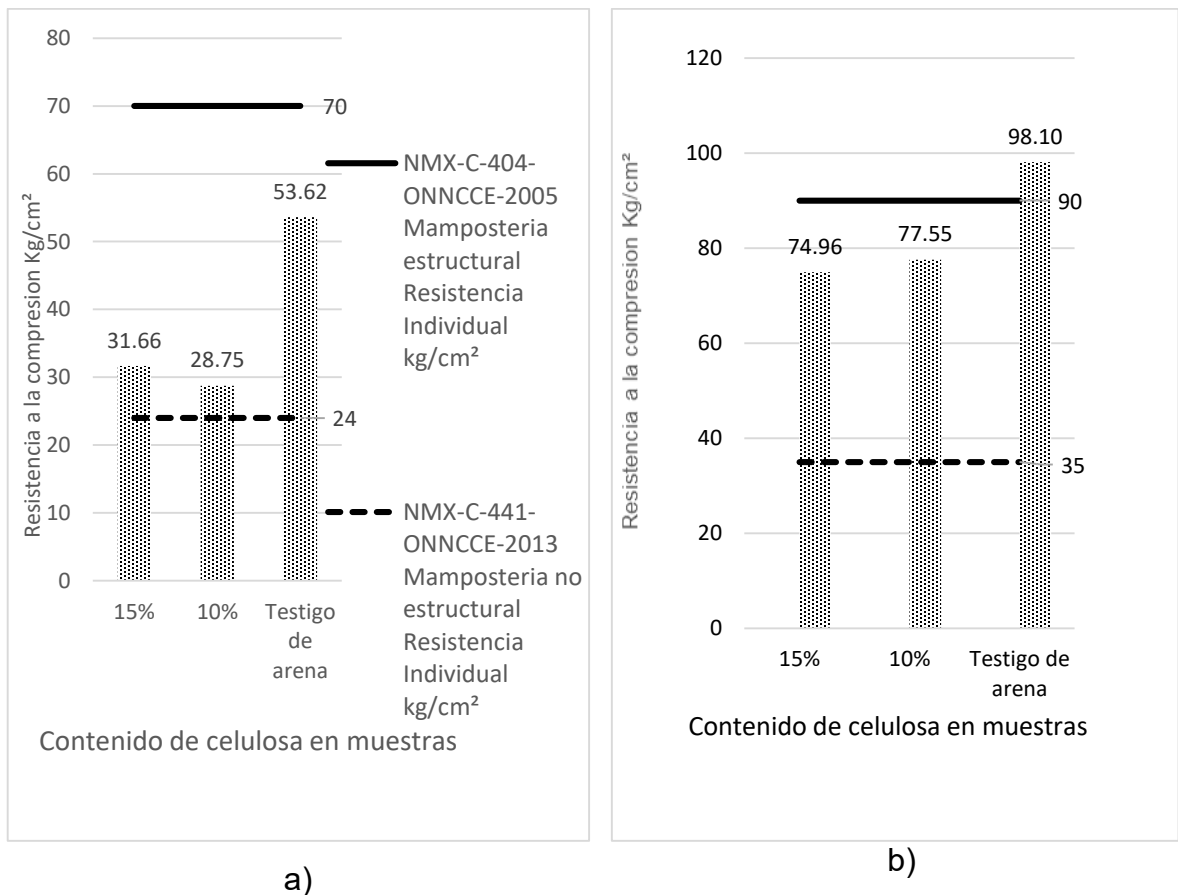


Figura 30. Relación del contenido de celulosa en las muestras con tierra prensadas a 2 toneladas de la tercera etapa respecto a la resistencia a la compresión: a) Resultados de bloque hueco, b) Resultados de cilindros

4.4 Absorción total de agua en 24 horas de las muestras

Para realizar esta prueba se tomaron en cuenta todas las etapas (figura 31) (en la primera etapa solo se probaron las muestras con tierra), se compararon los resultados promediados con los estándares que la norma mexicana NMX-C441-ONNCCE-2013, los cuales se muestran en el cuadro 14, donde se usaron los valores de concreto como materia y el porcentaje de absorción de agua total en 24hrs (25% en masa).



Figura 31. Realización de la prueba de absorción de agua total en 24 horas de bloques huecos y cilindros.

Cuadro 14. Valores máximos de absorción inicial y absorción total de agua en 24 Horas. Fuente: (ONNCCE, 2014)

Tipo de material	Absorción total en 24 horas en porcentaje
Concreto	25
Arcilla artesanal	25
Arcilla extruida o prensada	20

Primera etapa de muestras

Respecto a la absorción de agua que tuvieron las muestras cilíndricas, prensadas a 2 (figura 32a) y 4 (figura 32b) toneladas, las dosificaciones con 10% de celulosa y testigos fueron las que absorbieron menos de 25% de agua en 24 horas.

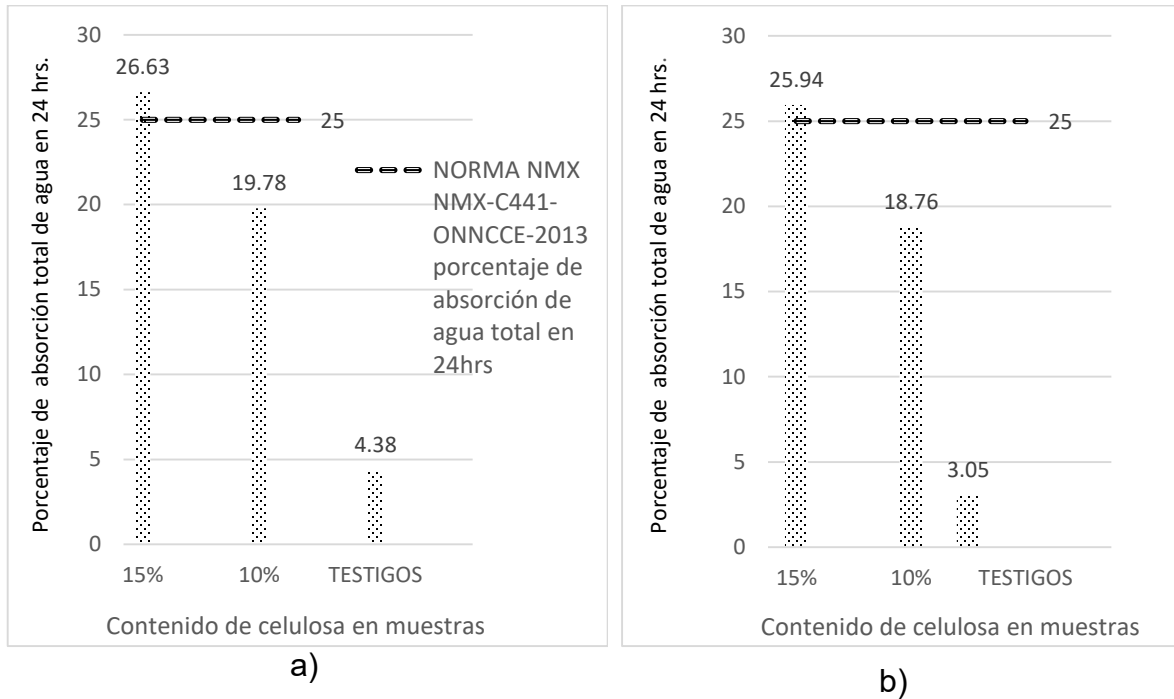


Figura 32. Relación del contenido de celulosa en las muestras respecto a la absorción total de agua en 24 horas: a) Tierra prensada a 2 toneladas, b) Tierra prensadas a 4 toneladas

Segunda etapa de muestras

La cantidad de muestras en forma de bloque hueco fueron la cantidad total de nueve con tres repeticiones para cada dosificación. En la figura 33 se muestran los resultados que obtuvieron las muestras, al compararlas con la norma ONNCCE-C-441-2013, solamente los testigos con arena son los que están dentro de los límites de absorción de agua de 13.43% sobre su peso.

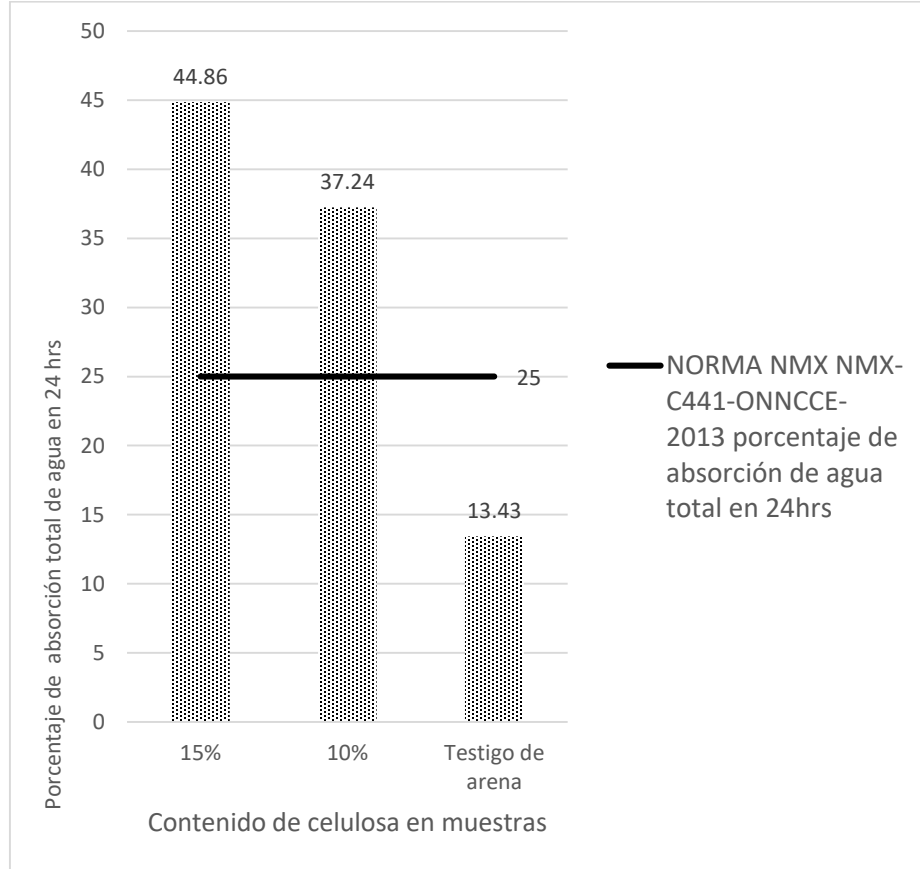


Figura 33. Relación del contenido de celulosa en los huecos con cemento CPC 30R respecto a la absorción total de agua en 24 horas

Tercera etapa

Al ver los resultados de las muestras de bloque hueco (figura 34) comparados con la norma, los cuales tuvieron resultados parecidos que la segunda etapa de muestras, en las cuales solo los testigos (figura 35a) estuvieron dentro de los límites de absorción de agua total en 24 horas. En cuanto a las muestras cilíndricas (figura 35b) todas las dosificaciones pasaron los estándares de la norma ONNCCE-C-441-2013 con una absorción menor a 25% de agua.



Figura 34. Bloques huecos.

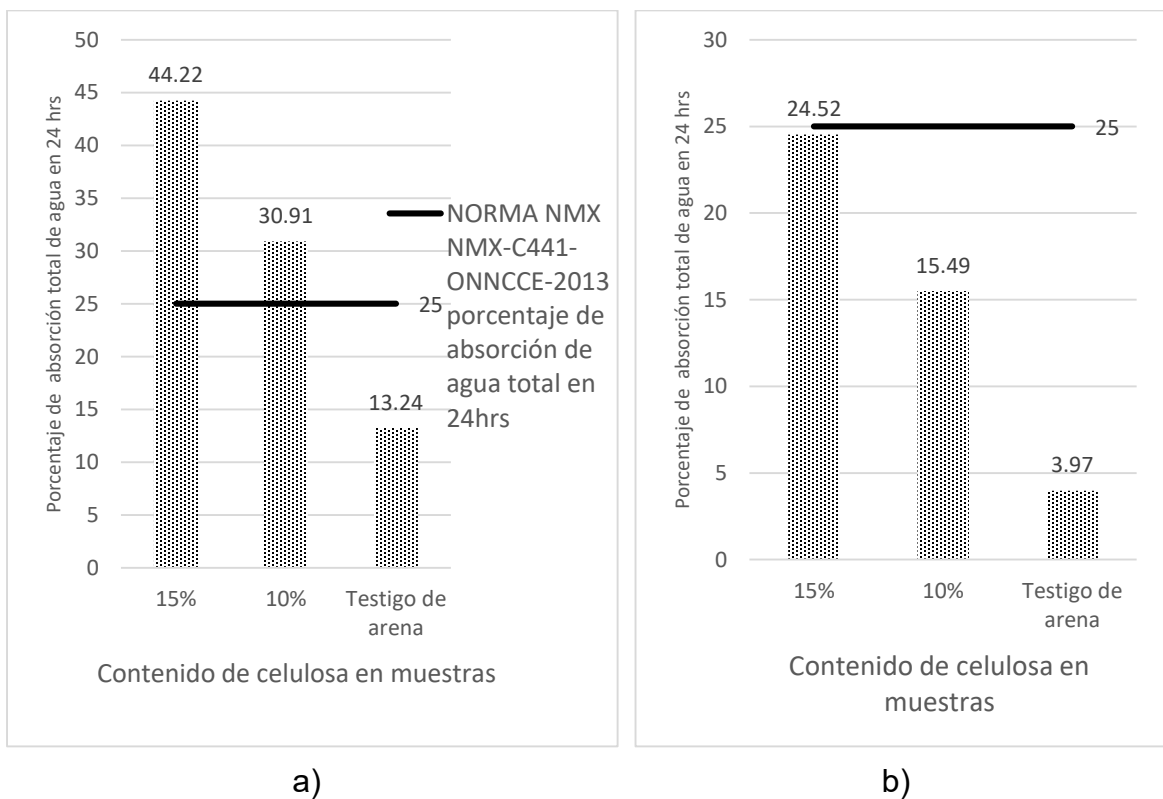


Figura 35. Relación del contenido de celulosa en muestras con cemento CPC 40 respecto a la absorción total de agua en 24 horas. a) Bloques huecos b) Cilindros

4.5 Conductividad térmica

Segunda etapa de muestras

El valor de conductividad térmica fue de $1.2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ en muestras de concreto (testigo), con respecto a la prueba con las especímenes al 10 y 15% de celulosa (figura 36) los valores de conductividad fueron de 0.22 y $0.18 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, en promedio respectivamente, además, el laboratorio de Sistemas Térmicos y Eléctricos proporciono el valor de conductividad térmica del concreto común con un valor de $1.7 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ y la Construmática; (2018), dice que el ladrillo común tiene una conductividad térmica de $0.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ (figura 37). Por lo tanto las dosificaciones con celulosa lograron una conductividad térmica menor comparándose con el testigo (entre más celulosa en muestras una menor conductividad térmica), propiedad que genera un mayor confort térmico en edificaciones así mismo, un ahorro energético respecto a bloques de concreto y ladrillos comunes.



Figura 36. Algunas muestras utilizadas para la prueba de conductividad térmica

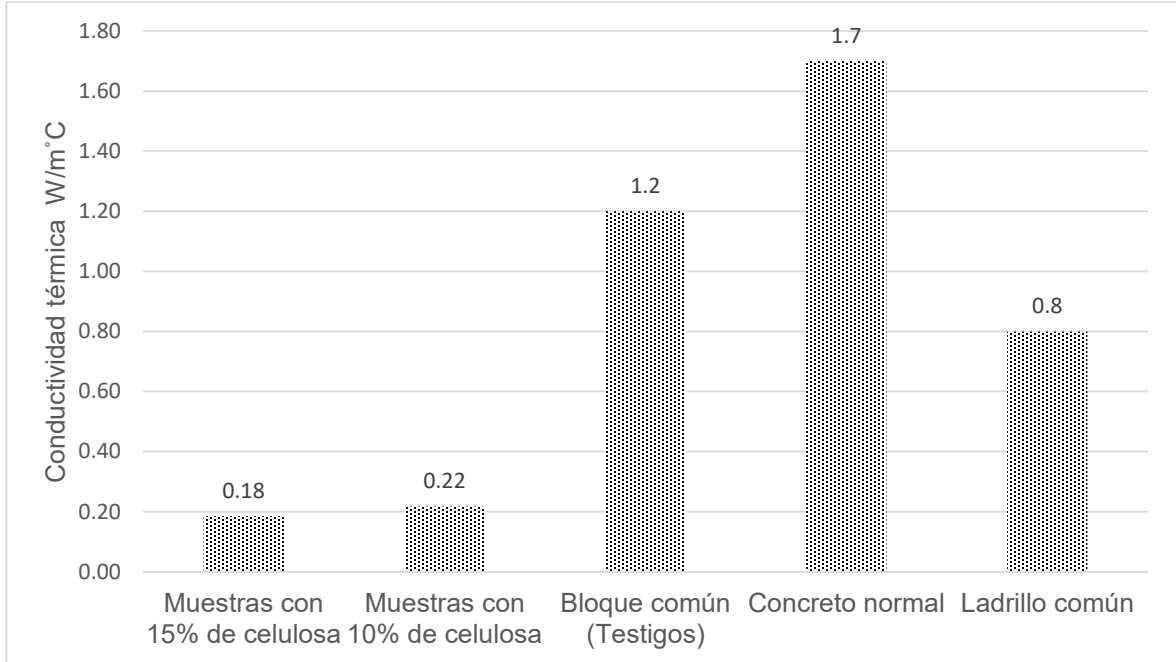


Figura 37. Conductividad térmica de muestras de la segunda etapa y demás materiales usados en la industria de la construcción. Fuente: Propia a partir de reporte de laboratorio, Construmática (2018a).

CONCLUSIONES

Refiriéndose a los materiales usados en el diseño de las mezclas, se pudieron observar los comportamientos de los materiales en las diferentes dosificaciones teniendo presente los estudios realizados de resistencia a la compresión, conductividad térmica y absorción de agua total en 24 horas.

Los trabajos desarrollados al incluir los diferentes porcentajes de celulosa de papel reciclado (dosificaciones) que mostraron mejores resultados fueron las muestras prensadas a 2 toneladas con 15% de celulosa realizados con tierra (relación cemento/tierra de 0.25) obteniendo una resistencia media de 72.3 kg/cm² y una densidad de 1305 kg/m³ en los cilindros de la primera etapa.

Para la segunda etapa de la investigación, utilizando bloques huecos con 15% de celulosa se logró la mayor resistencia a la compresión, con un valor de 28.41 kg/cm² y una conductividad térmica de 0.18 W/m°C con una relación cemento/tierra de 0.25 y un prensado de 2 toneladas influyendo directamente por el contenido de celulosa en el material de estudio, reflejándose una densidad de 1003 kg/m³ (entre más denso el material aumentara la conductividad térmica). Clasificándose como concretos ligeros cualidad que disminuye el tiempo de construcción, transporte, genera un mayor confort térmico en viviendas, ahorro energético, etc.

En la tercera etapa de muestras, utilizando bloques huecos y cilindros con cemento CPC 40 las dosificaciones que tuvieron una mayor resistencia en la compresión con 15% de celulosa soportando 31.66 y 74.96 kg/cm², teniendo una densidad de 975 y 1158 kg/m³ teniendo una clasificación como concreto ligero.

Con respecto a la prueba de absorción de agua total en 24 días realizada en las tres etapas, las muestras que pudieron pasar ese ensayo de la primera etapa fueron los cilindros con 10% de celulosa y testigos prensados a 2 (19.78 y 4.38% de absorción) y 4 toneladas (18.76 y 3.05 % de absorción). Los mejores resultados de la segunda y tercera etapa de muestras fueron los testigos con 13.43 y 13.24 % de agua

absorbida. Los cilindros realizados en la tercera etapa, todas las dosificaciones pudieron pasar los requerimientos de la norma ONNCCE. Refiriéndose a los porcentajes de celulosa que se usaron se puede decir que a mayor concentración de celulosa y a menor prensado más absorción de agua tendrá la muestras porque el papel absorbe su peso en agua.

En cuanto al rendimiento del cemento CPC 40, tuvo mejores resultados en la resistencia a la compresión de muestras en forma de bloque hueco y cilindros con una absorción de agua similar a las muestras realizadas con cemento CPC 30R. También tuvo un mejor desempeño en la trabajabilidad de las mezclas y un mejor acabado estético de los mampuestos.

Al realizar y utilizarse bloques o ladrillos para la edificación de muros interiores contribuyen a la disminución de la basura en la comunidad además, de generar ahorro de transporte y disminuir los tiempos de edificación gracias a la densidad que presentan este tipo de material, además, pueden utilizarse para la construcción de otro tipo de elementos como hojas de yeso (la mezcla con 15% de celulosa prensada a 2 toneladas absorbe menos agua y no se hincha), emplastes, rellenos, entre otras posibilidades, gracias a las propiedades aislantes y resistencia mecánica aceptables, porque ayudan a realizarse una vivienda de calidad con un confort térmico generando un ahorro energético.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de la mezcla con 15% de celulosa prensada a 2 toneladas de para la realización de muros interiores en viviendas además, se debe emplastar para que la durabilidad sea mayor.

Se recomienda usar la mezcla probada como bloques huecos de la última etapa, como sustituto de hoja de yeso para muros interiores y realizar pruebas de resistencia a la compresión.

Se recomienda realizar pruebas en módulos de elasticidad de pilas (o alguna otra prueba) de las mezclas para determinar su resistencia ante los sismos porque al realizarse la prueba de resistencia a la compresión se observó que las muestras tardaron más tiempo en partirse que los testigos, por lo que la celulosa da un acolchonamiento a la mezcla al momento de aplicarle cargas.

Se recomienda modificar las dosificaciones para hacer muestras vibradas con una mayor compactación y vaciadas para realizar las pruebas de resistencia a la compresión, absorción de agua y conductividad térmica para probar el desempeño de la celulosa además, de comprobar que otros usos se le puede dar a las dosificaciones como de empleaste, relleno, etc.

Se recomienda mineralizar la celulosa para mezclarla con la demás materia prima, con el fin de que ayude a que los mampuestos reduzcan la cantidad de agua que absorben además, de realizar pruebas de resistencia a la compresión y conductividad térmica.

BIBLIOGRAFÍA

- 360° en Concreto. (2015). El qué y el cómo de la mampostería estructural. Recuperado el 29 de noviembre de 2017, de <http://blog.360gradosenconcreto.com/mamposteria-estructural-el-que-y-el-como/>
- Almagro, A. (1986). Separata de las actas del III Simposio de Internacional de mudejarismo. Recuperado de <http://conceptodefinicion.de/yeso/>
- Almengor, A., Gutiérrez, N., Moreno, J., y Caballero, K. (2017). Reciclaje de materiales para la elaboración de bloques bioamigables. *Revista de Iniciación Científica*, 3(0), 82–87. Recuperado de <http://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1460>
- Arqhys. (2017). Fraguado del concreto. Recuperado el 22 de noviembre de 2017, de <http://www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html>
- ASTM. (1989). American Society for Testing and Materials. C-1132. Standard Practice for Calibration of the Heat Flow Meter Apparatus.
- ASTM. (1990). American Society for Testing and Materials. C-1045. Standard Practice for Calculating Thermal Transmission Properties from Steady-State Heat Flux Measurements.
- ASTM. (1991). American Society for Testing and Materials. C-518: Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus. *ASTM, 04*, 1–15. <https://doi.org/10.1520/C0518-10.2>
- ASTM. (1992). American Society for Testing and Materials. C-1058. Standard Practice for Selecting Temperatures for Evaluating and Reporting Thermal Properties of Thermal Insulation.
- ASTM. (2004). American Society for Testing and Materials. C-566-97: Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying (Método

de prueba estandarizado por secado para el contenido de humedad total evaporable de agregados). *Annual Book of ASTM Standards*. <https://doi.org/10.1520/C0566-97R04.2>

ASTM. (2012). American Society for Testing and Materials. C-117. Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No . 200) Sieve in Mineral. *ASTM Standard Guide, 04(200)*, 4–7. <https://doi.org/10.1520/C0117-13.2>

ASTM. (2015). American Society for Testing and Materials. C-136. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, *04*, 1–5. <https://doi.org/10.1520/C0136>

Becker, E. (2014). Cemento Portland Compuesto.

Belli, C. (2016). De desastre a dignidad: Reconstrucción después del terremoto en Pedernales, Ecuador. Recuperado el 7 de abril de 2018, de <http://www.ecosur.org/index.php/ediciones-antteriores/754-de-desastre-a-dignidad-reconstruccion-despues-del-terremoto-en-pedernales-ecuador>

Bellver, E. (2015). El papel reciclado industrial. Recuperado de <https://tendencias.com/eco/el-papel-reciclado-industrial/>

Benites, F. (2013). Ladrilleras artesanales producen alta contaminación ambiental. Recuperado de <http://freundefbc.blogspot.mx/2013/03/ladrilleras-artesanales-producen-alta.html>

Beyer, H., y Walter, W. (1987). *Manual de química orgánica* (19a ed.). Barcelona: Editorial Reverté de S.A. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?id=Pm7INZzKlaoCypg=PA488yIpg=PA488ydq=celulosaysource=blyots=z7ad3KHgaYysig=hnP7G5AC_GyBsJG7dwcWfi4A3Nkyhl=esysa=Xyved=0ahUKEwi_4oqtzL7TAhVnjFQKHVMCDmUQ6AEITjAH#v=onepageyq=celulosayf=false

Bianucci, M. A. (2009). El ladrillo: Orígenes y desarrollo. *Área de la Tecnología y la Producción*, 39.

- Borrás, G., y Fatás, G. (2006). *Diccionario de términos de arte y elementos de arqueología, heráldica y numismática*. Madrid: Alianza Editorial.
- Bustos, D. (2017). Reciclaje de papel en México. Recuperado de <http://www.ciceana.org.mx/contenido.php?cont=398>
- Cámara industrial de la cerámica roja. (1998). Comportamiento térmico de mampuestos y techos cerámicos. *Cicer*, 1–30. Recuperado de <http://www.cormela.com.ar/docs/comportamiento-termico.pdf>
- Camargo, P. (2015). *Producción de un mortero con propiedades aislantes para el recubrimiento de mamposterías*.
- CEMEX. (2017). Cementos Mexicanos. Ficha Técnica de Cemento CPC 30 R.
- CEMEX México. (2017). Cementos Mexicanos. Agregados. Recuperado el 22 de noviembre de 2017, de <https://www.cemexmexico.com/productos/agregados>
- Choquegonza, E. (2018). El ladrillo. Recuperado el 8 de abril de 2018, de <https://es.scribd.com/document/174752200/EL-LADRILLO-Para-Imprimir>
- Classic Rock Face Block. (2018). The History Behind Rock Face Block. Recuperado el 6 de junio de 2018, de <http://classicrockfaceblock.com/the-history-behind-rock-face-block/>
- Colacce, C., Leao, C., y Pastorino, D. (2015). *Mampostería Estructural. Mampostería Estructural*.
- ConceptoDefinición. (2018). ¿Qué es Energía? Su Definición, Concepto y Significado. Recuperado el 29 de mayo de 2018, de <http://conceptodefinicion.de/energia/>
- Construmática. (2017). Betún. Recuperado el 29 de noviembre de 2017, de <http://www.construmatica.com/construpedia/Betún>
- Construmática. (2018a). Coeficiente de Conductividad Térmica. Recuperado el 24 de junio de 2018, de

https://www.construmatica.com/construpedia/Coeficiente_de_Conductividad_Térmica

Construmática. (2018b). Confort Térmico. Recuperado el 6 de junio de 2018, de https://www.construmatica.com/construpedia/Confort_Térmico

Corporación Moctezuma S.A.B. de C.V. (2013). Cemento Portland Compuesto CPC 40. Recuperado de http://www.cmoctezuma.com.mx/cementos/producto/9/cemento-portland-compuesto-cpc-30-r.htm#.V_25CeB97cc

Cortés, J. (2015). *Caracterización de arenas secas mal y bien graduadas bajo pruebas de corte directo.*

Costrumática. (2017). Introducción a los morteros. Recuperado el 22 de noviembre de 2017, de http://www.construmatica.com/construpedia/Introducción_a_los_Morteros

Cruz, P. (2015). Producción de un mortero con propiedades aislantes para el recubrimiento de mamposterías.

DeficiónABC. (2017). Definición de Estructura. Recuperado el 25 de febrero de 2017, de <https://www.definicionabc.com/general/estructura.php>

Delgado, J. (2017). Reubicarán ladrilleras en SLRC; generan contaminación. Recuperado de <http://www.uniobregon.com/noticias/sonora/268387/reubicaran-ladrilleras-en-slrcc-generan-contaminacion.html>

Diccionario de la lengua española. (2017). Ladrillo. Recuperado el 6 de febrero de 2017, de <http://dle.rae.es/?id=Mn8NFST>

Diccionario de la lengua española. (2018). Pared. Recuperado el 7 de marzo de 2018, de <http://dle.rae.es/?id=RucCTKo>

Dockery, D., Pope, A., Xu, X., Spengler, J., Ware, J., Fay, M., ... Speizer, F. (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities.

- Dominguez, J., y Schifter, I. (1995). *Las arcillas: el barro noble* (Primera). México: Fondo de cultura económica, S.A. de C.V. Recuperado de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/109/html/sec_2.html
- Echeverría Aguilar, A. (2018). Estrategia de Transición para promover el uso de Tecnologías más Limpias en el tema de ahorro de energía y eficiencia energética en las edificaciones de México . Documento base Contenido, 28.
- EcuRed. (2017a). Arena. Recuperado de <https://www.ecured.cu/Arena>
- EcuRed. (2017b). Densidad aparente. Recuperado el 23 de noviembre de 2017, de https://www.ecured.cu/Densidad_aparente
- El Mundo. (2014). La OMS alerta del aumento de la contaminación ambiental en las ciudades. Recuperado de <http://www.elmundo.es/salud/2014/05/07/536a6608ca4741fe0d8b4573.html>
- Escuela de Ingeniería en Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (1976). Análisis Granulométrico. *Acta salmanticensia: Ciencias*.
- Facultad de Ingeniería de la Universidad Nordeste Nacional. (2014). Cemento Pórtland. *Cemento Pórtland*, 2–4. Recuperado de <http://ing.unne.edu.ar/pub/quimica/cemento.pdf>
- Fernández, S., Ramírez, E., Ramírez, C., y González, F. (2013). El concepto “desarrollo sustentable”. Recuperado de <http://sds.uanl.mx/el-concepto-desarrollo-sustentable/>
- Figuroa, C. (2009). *Asociación de la exposición a los contaminantes de la industria ladrillera y la función pulmonar en personas expuestas de Hermosillo, Sonora*.
- Flores, L. (2015). *Ponencia de Normas NMX para estructuras de mampostería(Norma mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012 Piezas para uso estructural)*.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Departamento de Pesca. (2017). Materiales termoaislantes, características técnicas y criterios de selección. Recuperado el 30 de noviembre de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/008/y5013s/y5013s07.htm>
- Franco, Á. (2018). La conducción del calor. Ley de Fourier. Recuperado el 7 de abril de 2018, de http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/transporte/cond_calor/conduccion/conduccion.html
- Galán, E., y Aparicio, P. (1961). Materias primas para la industria cerámica. *Utilización de Rocas y Minerales Industriales; Alicante 4 de julio de 2005*, vol. 2, 31–48.
- Galicia, B., Ángeles, A., González, E., y Muñoz, I. (2018). Utilización de Block a base de Pet y concreto en Centro de prevención juvenil, ubicado en el Municipio de Ecatepec, Estado de México.
- García, A. (2017). Método de ensayo para la determinación de la capacidad absorción de agua de los ladrillos, 97–100. Recuperado de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1264/1395%5Cnhttp://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=Nycodigo=N0006751#.Vz3ATrHou01>
- García, E., y Suárez, M. (2017). Arcillas: propiedades y usos. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de <http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.htm>
- Gatani, M. P. (2000). Ladrillos de suelo-cemento: Mampuesto tradicional en base a un material sostenible. *Informes de la Construcción*, 51(466). <https://doi.org/10.3989/ic.2000.v51.i466.713>
- Gomá, F. (1979). *El cemento portland y otros aglomerantes* (Primera). Editores técnicos asociados, s.a. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?hl=esylr=yid=XDTMOk4Ggd0Cyoifndypg=PA2ydq=AGLOMERANTESyots=qJbSzKEd8Qysig=IVoFlo2J_0zb3RRnDh

6UwDH3fmk#v=onepageyq=AGLOMERANTESyf=false

- González, J. (2003). Clasificación de suelos por los métodos Unificado SUCS y AASHTO. Recuperado de <https://www.civilexcel.com/2012/02/clasificacion-de-suelos-por-los-metodos.html>
- González, J. (2018). Bloques de concreto muy sanos. Recuperado el 5 de junio de 2018, de <http://www.imcyc.com/ct2008/oct08/sustentabilidad.htm>
- González, M. (2017). La industria del papel en México agoniza por falta de bosques. Recuperado de <http://www.informador.com.mx/jalisco/2009/152544/6/la-industria-del-papel-en-mexico-agoniza-por-falta-de-bosques.htm>
- Greenpeace México. (2010). El papel y su impacto ambiental, 1–7. Recuperado de http://archivo.estepais.com/inicio/historicos/94/14_Medio_ambiente_El_papel_greenpeace.pdf
- Grupo Morbeck. (2014). Seis métodos de curado del concreto. Recuperado el 29 de noviembre de 2017, de <http://www.grupomorbeck.com/site/mx/blog/bloques-de-homigon/6-metodos-de-curado-del-concreto>
- Guerrero, J., Tunarosa, S., y Veloza, C. (2012). Sistemas de mampostería estructural y confinada. Recuperado de <https://prezi.com/4-4ler8mesnv/sistemas-de-mamposteria-estructural-y-confinada/>
- Holcim. (2016). ¿Qué es la construcción sostenible? Recuperado el 20 de febrero de 2018, de <http://www.holcim.com.ec/desarrollo-sostenible/holcim-foundation-for-sustainable-construction/que-es-la-construccion-sostenible.html>
- How products are made. (2018). How concrete block is made. Recuperado el 7 de junio de 2018, de <http://www.madehow.com/Volume-3/Concrete-Block.html>
- Ibarra, F. (2004). *Diseño de una máquina semiautomática moldeadora de ladrillo de barro de 5.5x13x24 cm de dimensiones, con una capacidad de 500 ladrillos por hora, utilizable en la industria ladrillera.*

- Industrias Molser, S. . (2013). Mezcladora horizontal. Recuperado el 7 de junio de 2018, de <http://industriasmolser.blogspot.com/2013/01/mezcladora-horizontal.html>
- Instituto Español del cemento y sus aplicaciones. (2017). Componentes y propiedades del cemento. Recuperado el 22 de noviembre de 2017, de https://www.ieca.es/gloCementos.asp?id_rep=179
- IMCYC. (1994). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. *Curado del Concreto*. (H. Esqueda y R. Huerta, Eds.) (Primera ed). Distrito Federal, Mexico: Instituto Mexicano del cemento y del Concreto, S.A.
- IMCYC. (1999). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Curado del concreto fresco. Recuperado el 22 de noviembre de 2017, de <http://www.imcyc.com/revista/1999/mayo/curado1.htm>
- IMCYC. (2006a). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Bloques, para hacerlos mejor, 12–15.
- IMCYC. (2006b). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Pruebas de resistencia a la compresión del concreto, 6. Recuperado de <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>
- IMCYC. (2013). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Cemento Portland, concreto y calor de hidratación, 10–13.
- IMCYC. (2004). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Curado a vapor, 14.
- León, M. (2016). Tienen enfermedades respiratorias 6 de 10 en la CDMX, por contaminación. Recuperado de <http://www.elfinanciero.com.mx/nacional/tienen-enfermedades-respiratorias-de-10-en-la-cdmx-por-polucion.html>
- López, E. (2002). Fabricación de pasta de celulosa Aspectos técnicos y contaminación ambiental, 37–46.
- López, M., y Pérez, I. . (2014). Valoración económica de los beneficios a la salud de la población que se alcanzarían por la reducción de las PM_{2.5} en tres zonas

metropolitanas mexicanas, 51. Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgicur/2014_pm2.5_ccsa_inecc.pdf

Matty, A. (2013). Hermosillo, en “top ten” de contaminación en México. Recuperado de <http://www.dossierpolitico.com/vernoticiasanteriores.php?artid=133836yrelacion=dossierpoliticoycriterio=>

Ministerio de la Producción. (2010). Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales, 11.

Monroy, M., Hernández, P., Carratalá, J., Padrón, C., Ortega, F., García, B., ... Durán. (2000). Conductividad térmica y densidad de materiales. *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*, 1–3.

Newark Wire Cloth Company. (2018). ASTM- E11-13 Standard specification for woven wire test sieve cloth and test sieves. Recuperado el 1 de marzo de 2018, de <http://www.newarkwire.com/astm-e11.html>

Odriozola, V. (2000). Impactos de la producción de papel, 1–5. Recuperado de <http://www.greenpeace.org/argentina/Global/argentina/report/2006/8/impactos-de-la-produccion-de-p.pdf>

Olmo, M., y Nave, R. (2017). Transferencia de calor. Recuperado el 5 de junio de 2018, de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/heatra.html#c1>

ONNCCE. (1998). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. NMX-C-251. Industria de la construcción-Concreto-Terminología. Recuperado de [http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Normas de Cemento/4 NMX-C-251-1997-ONNCCE.pdf](http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Normas%20de%20Cemento/4%20NMX-C-251-1997-ONNCCE.pdf)

ONNCCE. (2001). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. Características de los materiales, 1–8. Recuperado de <http://www.cmic.org/comisiones/Sectoriales/normateca/SCT/Caracteristicas>

de los Materiales/4-05.htm

ONNCCE. (2005). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. NMX-C-037-ONNCCE- Industria de la construcción-Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones- Determinacion de agua y absorcion inicial de agua.

ONNCCE. (2013a). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. NMX-C-036 Mampostería. Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines. Método de ensayo.

ONNCCE. (2013b). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. NMX-C-038 Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones. Método de ensayo.

ONNCCE. (2013c). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. NMX-C-441 Industria de la construcción - Mampostería –bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural –Especificaciones y métodos de ensayo.

Peña, M. (2016). Materiales para el concreto. Recuperado el 5 de diciembre de 2017, de <http://slideplayer.es/slide/10272693/>

Ramos, M. L. (2017). Arqueología experimental. Recuperado el 12 de febrero de 2017, de <http://personales.unican.es/ramosml/man2.html>

Raut, S., Mandavgane, S., y Ralegaonkar, R. (2014). Thermal Performance Assessment of Recycled Paper Mill Waste–Cement Bricks Using the Small-Scale Model Technique. *Journal of Energy Engineering*, 140(4), 04014001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000171](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000171)

Raut, S. P., Sedmake, R., Dhunde, S., Ralegaonkar, R. V., y Mandavgane, S. A. (2012). Reuse of recycle paper mill waste in energy absorbing light weight bricks. *Construction and Building Materials*, 27(1), 247–251. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.053>

- Revuelta Crespo, D., y Gutiérrez Jiménez, J. P. (2008). Estimación de la resistencia a compresión del hormigón mediante el muestreo, extracción y rotura de probetas testigo. *Jornadas de Investigación en Construcción. Actas de las Jornadas. G.1. Calidad y seguridad: Seguridad estructural*, (1), 1337–1349. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10261/6298>
- Rodríguez, G. (2013). Enfrentan ladrilleros competencia desleal, abaratan precios. Recuperado de <http://www.lacronica.com/EdicionEnLinea/Notas/Noticias/28082013/746797-Enfrentan-ladrilleros-competencia-desleal-abaratan-precios.html>
- Rojas, J. M. (2007). Densidad aparente, comparación de métodos de determinación en ensayo de rotaciones en siembra directa. *Centro Regional Chaco Formosa Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña*, 23–29.
- Servicio Meteorológico Nacional. (2010). Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado el 7 de noviembre de 2017, de <http://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales5110/NORMAL26087.TXT>
- Soriano, R., y Ángeles, J. (2015). Centro de Información y Cultura con Prototipo de Block a Base de Concreto y Caucho.
- Teorema Ambiental. (2015). Grave contaminación en San Luis Río Colorado por tiradero de basura • Teorema Ambiental. Recuperado el 18 de febrero de 2017, de http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/grave-contaminacion-en-san-luis-rio-colorado-por-tiradero-de-basura/
- Todo sobre arquitectura. (2018). Mampostería. Recuperado el 7 de marzo de 2018, de <http://blogdearquitectura-juli.blogspot.mx/p/mamposteria.html>
- Torres, H., Aizprúa, R., y Espinosa, E. (2014). La Ley de Fourier. Recuperado el 7 de abril de 2018, de <https://es.slideshare.net/halantorres3/la-ley-de-fourier>
- Zea, N. (2005). *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*.

ANEXOS



a)



b)



c)



d)

Anexo 1. Materia prima utilizada para las muestras, a) Celulosa reciclada, b) Cemento CPC 30R, c) Arena, d) Tierra



Anexo 2. Bloquera con molde para las muestras de la prueba de conductividad térmica.



Anexo 3. Ladrillos huecos y cilindros en la cámara de fraguado.



Anexo 4. Muestras de tierra y arena colocadas en un horno para secarse.



Anexo 5. Bloques huecos



Anexo 6. Muestras colocadas en el horno para secarse.



Anexo 7. Realizando muestras en la máquina bloquera.



Anexo 8. Muestras cilíndricas en el horno de la universidad