



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA**

Facultad de Arquitectura
Instituto de Investigaciones Históricas
FES Aragón

NEUBLOCK

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UN BLOCK DE MORTERO CON AGREGADO DE CAUCHO
RECICLADO DE NEUMÁTICOS, COMO ELEMENTO CONSTRUCTIVO TÉRMICO**

TESIS

Que para optar por el grado de Maestro en Arquitectura
En el campo de conocimiento de Tecnologías

Postula:

Arq. Isaac Martínez Meléndez

Tutor principal:

*Dra. Maribel Jaimes Torres
Facultad de Arquitectura, UNAM*

Miembros del Comité Tutor

*Dra. Adriana Lira Oliver
Facultad de Arquitectura, UNAM*

*Dr. Francisco González Díaz
Departamento de Materiales, UAM Azcapotzalco*

*Dra. Elisa Marcela García Casillas
Universidad la Salle*

*Mtro. Sean Rodolfo Sebastián Vilchis Martínez
Facultad de Arquitectura, UNAM*

Ciudad Universitaria, Ciudad de México, Abril 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Programa de Maestría y Doctorado
en Arquitectura



Agradecimientos

La presente investigación se realizó con el apoyo de distintas instituciones y laboratorios:



Universidad
Autónoma
Metropolitana
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

Laboratorio del Departamento de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Azcapotzalco.



Laboratorio de Entornos Sostenibles de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, por medio del proyecto CONACYT-SENER 260155.



Laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural.



Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT.

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| I. Introducción..... | 12 |
| I.1 Justificación | 13 |
| I.2 Alcance y limitaciones..... | 13 |
| I.2.1 Limitaciones..... | 13 |
| I.2.2 Alcances | 14 |
| I.3 Planteamiento del problema | 14 |
| I.3.1 Consumo eléctrico en México..... | 14 |
| I.3.2 El desecho..... | 17 |
| I.3.3 El problema ecológico del neumático | 18 |
| I.3.4 Medio ambiente | 19 |
| I.3.5 El problema de los NFUs en México..... | 20 |
| I.3.6 Conclusiones de la problemática | 23 |
| I.4. Sitio de estudio | 24 |
| I.5 Objetivos generales | 25 |
| I.6 Objetivos Particulares | 25 |
| I.7 Hipótesis..... | 26 |
| I.8 Estructura de la tesis | 26 |
| I.8 Conclusiones de la problemática..... | 22 |
| II. Marco Teórico | |
| II.1 Antecedentes..... | 26 |
| II.1.2 Normatividad Energética..... | 26 |
| II.1.3 Aislamiento térmico..... | 28 |
| II.1.4 Reciclaje de llantas a nivel mundial | 29 |
| II.1.5 Mexico: plan de manejo de neumáticos usados de desecho..... | 31 |
| II.2 Clasificación de materiales | 34 |
| II.3 El neumático | 38 |
| II.4 Materiales cerámicos..... | 42 |
| II.4.1 Etapa preindustrial..... | 42 |
| II.5 Revolución industrial..... | 43 |
| II.6 Cemento | 45 |
| II.6.1 Tipos de cemento | 47 |
| II.7 Concreto | 50 |
| II.7.1 Agregados gruesos..... | 50 |
| II.7.2 Agregados finos..... | 53 |
| II.8 Normatividad..... | 56 |
| III. Estado del arte..... | 59 |

| | |
|---|-----|
| III.1 Investigaciones de polímeros de reciclaje como agregado..... | 59 |
| III.2 Propiedades mecánicas de concretos estructurales con sustitución parcial de agregado fino por caucho de llanta | 55 |
| III.3 Llancreto | 62 |
| III.4 Estudio del agregado de caucho para la fabricación de block de manera industrial. | 63 |
| III.5 Estudio de los efectos de tratamientos superficiales en migas de caucho reciclado y su unión con concreto aligerado | 67 |
| III.6 ¿Qué determina la relación entre materiales para formar un nuevo compuesto? | 70 |
| III.7 Resumen de estudios con caucho como agregado en el concreto..... | 70 |
| III.7.1 Reseña de comportamiento del concreto con agregado de caucho reciclado (tomado de varios experimentos y artículos)..... | 70 |
| III.8 Conclusiones de estudios previos | 71 |
| IV Desarrollo..... | 72 |
| IV.1 Metodología..... | 75 |
| IV.2 Procedimiento experimental | 73 |
| IV.2.1 Elaboración de neublock | 73 |
| IV.3 Diseño de mezcla empírico | 73 |
| IV.4 Diseño de mezcla por mínimos vacíos | 77 |
| IV.5 Diseño de mezcla previo al caucho | 82 |
| IV.6 Diseño de mezcla con caucho..... | 85 |
| IV.7 Fabricacion de blocks en planta | 87 |
| IV.8 Pruebas de laboratorio | 90 |
| IV.9 Prueba de absorción inicial y absorción a 24 horas | 96 |
| IV.10 Prueba de intemperismo y FRX | 97 |
| IV.11 Prueba de conductividad térmica | 99 |
| IV.12 Simulacion térmica | 103 |
| V. Conclusiones..... | 104 |
| VI. Definiciones..... | 110 |
| VII. Bibliografía | 113 |

Índice de imágenes

| | |
|---|-----|
| Imagen 1: Climatización por aire acondicionado en México 2018..... | 15 |
| Imagen 2:Climatización por calefacción artificial en México 2018 | 16 |
| Imagen 3: Incendio de llantas en España. | 18 |
| Imagen 4: Aedes Aegypti | 20 |
| Imagen 5: Temperatura máxima promedio mensual en México (junio 2017) | 23 |
| Imagen 6: Temperatura mínima promedio mensual en México (enero 2017) | 24 |
| Imagen 7: Casa de adobe en Chihuahua..... | 25 |
| Imagen 8: Etiqueta NOM-020-ENER-2011 | 27 |
| Imagen 9: Orvillanta | 31 |
| Imagen 10: Plantas cementeras en México | 32 |
| Imagen 11: Manejo responsable de llantas usadas A.C. | 33 |
| Imagen 12: Mobiliario fabricado con llantas de desecho..... | 33 |
| Imagen 13: Casa fabricada con llantas de desecho..... | 33 |
| Imagen 14: Teléfono fabricado con Baquelita. | 34 |
| Imagen 15: Esfuerzo-Deformación de caucho natural y vulcanizado..... | 41 |
| Imagen 16: Conos pirométricos..... | 43 |
| Imagen 17: Esquema de procesamiento de concreto en seco..... | 46 |
| Imagen 18: Diagrama de mezclas de concreto. | 50 |
| Imagen 19 b y c: Blocks y ladrillos con caucho generados en fábrica para investigación. | 655 |
| Imagen 20: Caucho molido y triturado..... | 69 |
| Imagen 21: Diseño de mezcla con relación A/C 0.45..... | 74 |
| Imagen 22: Diseño de mezcla con relación A/C 0.60..... | 755 |
| Imagen 23: Diseño de mezcla con relación A/C 0.45..... | 75 |
| Imagen 24: Cilindros elaborados con el primer diseño de mezcla | 75 |
| Imagen 25 A-E: Primeras pruebas en planta bloquera..... | 766 |
| Imagen 26: Prueba de Granulometría a arena de mina en el Laboratorio de Materiales, UAM Azcapotzalco | 77 |
| Imagen 27: Pruebas físicas realizadas a la arena de mina en el Laboratorio de Materiales, UAM Azcapotzalco | 78 |
| Imagen 28: Probetas con distintas relaciones Arena-Cemento..... | 83 |
| Imagen 29: Probetas en cámara de fraguado | 833 |
| Imagen 30: Probetas en cámara de curado acelerado..... | 84 |
| Imagen 31: Prueba de compresión en probetas..... | 84 |
| Imagen 32: Probetas con distintos porcentajes de caucho | 86 |
| Imagen 33: Prueba de compresión en probetas con caucho | 87 |
| Imagen 34: Elaboración de Neublock en planta..... | 88 |
| Imagen 35: Elaboración de Neublock en planta..... | 89 |
| Imagen 36: Estiba de block | 90 |

| | |
|---|-------|
| Imagen 37: Placas de distribución de carga en ensayo a compresión según la NMX-C-036-ONNCCE-2012 | 91 |
| Imagen 38: Ejemplo de placa cabeceadora según la NMX-C-036-ONNCCE- 2012 | 93 |
| Imagen 39: Esquema de instrumento para medición de absorción inicial. NMX-C-037-ONNCCE-2013 | 94 |
| Imagen 40: Prueba de compresión en blocks ... ¡Error! Marcador no definido. | |
| Imagen 41: Prensa para prueba a compresión | 96 |
| Imagen 42: Prueba de absorción en Neublock..... | 97 |
| Imagen 43: Estado inicial y final del caucho con cemento después de ser intemperizado..... | 98 |
| Imagen 44: Componentes de mulch de caucho según prueba FRX | 99 |
| Imagen 45: Prueba de conductividad térmica / capacidad calorífica volumétrica Neublock | 100 |
| Imagen 46: Sensor de difusividad térmica de doble aguja SH-1 del analizador KD2 Pro..... | 1000 |
| Imagen 47: Barrenos de 1/16” para la instalación del sensor de difusividad térmica de doble aguja en Neublock..... | 1000 |
| Imagen 48: Modelo de departamento en Design Builder | 101 |
| Imagen 49: Comparación de temperatura en día más cálido..... | 102 |
| Imagen 50: Comparación de temperaturas en día más frío | 1022 |
| Imagen 51C: Comparativa de variaciones de temperatura; ¡Error! Marcador no definido. | |
| Imagen 51F: Comparativa de variaciones de temperatura..... | 104 |
| Imagen 52: Factor de amortiguamiento y tiempo de desfase..... | 105 |
| Imagen 53: Diagrama psicrométrico con el clima de Cd. Delicias, Chih. | 106 |
| Imagen 53: Reflectómetro Solar..... | 125 |
| Imagen 54: Emisómetro infrarrojo | 10425 |

Índice de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: Porcentaje de fabricación por tipos de llantas en México..... | 21 |
| Tabla 2: Plantas cementeras en México | 32 |
| Tabla 3: Grupos de polímeros..... | 35 |
| Tabla 4: Tipos de elastómeros | 38 |
| Tabla 5: Principales componentes en los neumáticos comerciales..... | 41 |
| Tabla 6: Sustancias perjudiciales en agregados gruesos. | 51 |
| Tabla 7: Límites granulométricos en agregados gruesos..... | 52 |
| Tabla 8: Límites granulométricos en agregados finos. | 53 |
| Tabla 9: Sustancias perjudiciales en agregados finos..... | 54 |
| Tabla 10: Límites para agregados finos que pasan la malla No. 200..... | 54 |
| Tabla 11: Resistencia a compresión de bloques no estructurales. | 57 |
| Tabla 12: Componentes de las llantas de acuerdo con Granzotto, L. et al. .. | 59 |
| Tabla 13: Proporciones en mezclas experimentales..... | 61 |
| Tabla 14: Densidades de mezcla de concreto por variación de porcentaje de caucho..... | 60 |
| Tabla 15: Dosificaciones experimentales en block..... | 64 |
| Tabla 16: Reducción en resistencia a flexión. | 70 |
| Tabla 17: Diseño de mezcla en plantas bloqueras. Web (2009) | 74 |
| Tabla 18: Diseño de mezcla inicial para Neublock | 75 |
| Tabla 19: Granulometría de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso... | 78 |
| Tabla 20: Granulometría de arena de banco Tenango del Valle | 80 |
| Tabla 21: Peso específico y absorción arena de banco Tengango del Valle . | 81 |
| Tabla 22: Masa suelta y masa compactada, arena de banco Tenango del Valle | 83 |
| Tabla 23: Diseño de mezclas para mortero..... | 82 |
| Tabla 24: Resumen de prueba de resistencia a compresión, probetas sin caucho..... | 85 |
| Tabla 25: Diseño de mezcla con 5.9 arena-cemento y 10% de caucho..... | 86 |
| Tabla 26: Resumen de prueba de resistencia a compresión, probetas con caucho..... | 87 |
| Tabla 27: Dosificaciones de mezcla en planta bloquera | 88 |
| Tabla 28: Resistencia a compresión de blocks en laboratorio | 95 |
| Tabla 29: Absorción inicial y a 24 horas en Neublock | 96 |
| Tabla 30: Resultados de pruebas térmicas | 101 |
| Tabla 31: Espesor de paredes para bloques lisos. | 112 |

Índice de gráficas

| | |
|--|----|
| Gráfica 1: Destino de neumáticos de desecho en México..... | 21 |
| Gráfica 2: Ganancias de calor en una vivienda sin medidas de control pasivo | 28 |
| Gráfica 3: Ganancias de calor en una vivienda con techo y muros aislados.. | 28 |
| Gráfica 4: Consumo eléctrico de sector residencial en México 1982-2018 | 29 |
| Gráfica 5: Resistencia a compresión de las muestras entre 7 y 28 días. Granzotto, L. et al (2013) | 61 |
| Gráfica 6: Resistencia a compresión..... | 65 |
| Gráfica 7: Prueba de trabajabilidad de concreto con caucho y sus distintos tratamientos. | 67 |
| Gráfica 8: Prueba de resistencia a la compresión y los distintos tratamientos del caucho..... | 68 |
| Gráfica 9: Granulometría de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso . | 79 |
| Gráfica 10: Granulometría de arena de banco Tenango del Valle | 80 |
| Valle | 81 |

Índice de esquemas

| | |
|---|----|
| Esquema 1: Procesos de reciclaje mecánico del NFU | 30 |
| Esquema 2: Fabricación de un Neumático..... | 42 |
| Esquema 3:Tipos de piezas según la ONNCCE (2012)..... | 88 |

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha habido una creciente preocupación dentro del sector de la construcción por mitigar los efectos negativos que esta rama genera hacia el medio ambiente, un claro ejemplo es la asociación LEED (Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental) que fue fundada en el año 2000 por un grupo de desarrolladores inmobiliarios que buscaban el objetivo de añadir calidad a sus obras, ahorrar energía y mejorar sus comunidades¹. Es un sistema internacionalmente reconocido que proporciona verificación por parte de un tercero de que un edificio fue diseñado y construido tomando en cuenta estrategias encaminadas a mejorar su desempeño ambiental². Este tipo de iniciativas han sido la base para fundar las normativas mexicanas NOM-020 y NOM-008 que desde hace varios años promueven la implementación de criterios en todo tipo de edificaciones para proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales³.

Una de las estrategias principales de estas normativas es eficientar energéticamente las edificaciones a través del uso de materiales bioclimáticamente adecuados en las envolventes para reducir el consumo de energía eléctrica por sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) o climatización artificial.

Otra creciente problemática contemporánea es la acumulación de desechos inorgánicos de uso cotidiano como lo son los neumáticos. De acuerdo con el Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos de la SEMARNAT⁴ la generación de llantas de desecho en países industrializados es aproximadamente una llanta de automóvil por habitante por año, por lo que en México de acuerdo al último censo del INEGI se puede hacer un cálculo aproximado de 119 millones de neumáticos al año, de los cuales la mayoría son desechados inadecuadamente.

En esta investigación se propone un material de construcción que reúne los criterios ambientales planteados por las normas mexicanas para obtener un elemento constructivo que puede tener capacidades de aislante térmico para usarse en envolventes no estructurales, y que a su vez está conformado por

¹ LEED Cert (2010)

² T. Baltazar (2019)

³ CONUEE (2011)

⁴ SEMARNAT (2012)

residuos de neumáticos fuera de uso, obteniendo un material de construcción con alto valor ecológico.

I.1 Justificación

Este proyecto se va a realizar como una investigación teórico práctica para el desarrollo de un material nuevo con propiedades avanzadas utilizando a su vez un material de reciclaje, resolviendo dos necesidades: la primera es la necesidad emergente de mejorar las propiedades térmicas de los materiales de construcción actuales para evitar un mayor impacto ecológico al disminuir el gasto energético que se destina a la climatización artificial de los espacios arquitectónicos, y la segunda es el reutilizar un desecho ampliamente encontrado en México y a nivel global.

Las exigencias que requiere este proyecto son multidisciplinarias, por una parte, es necesario adentrarse en las raíces del material de construcción actual, su fabricación y sus propiedades tanto físicas como mecánicas y térmicas para poder definir un correcto diseño teórico del material. En segunda instancia es necesario materializar el diseño para corroborar la factibilidad de su construcción, tanto en laboratorio como posteriormente en un proceso real de fabricación en masa. Por último, se necesitan realizar pruebas mecánicas para conocer las propiedades del material con su homólogo comercial, apegado a la normatividad mexicana para este tipo de materiales de construcción. Posteriormente se realizarán pruebas físicas para conocer sus propiedades térmicas. Con la información de estas últimas, se pretende realizar un modelo digital para hacer un cálculo en un caso de estudio teórico y finalmente poder comparar la ganancia térmica entre el Neublock y un block de concreto comercial.

I.2 Alcance y limitaciones

I.2.1 Limitaciones

Este proyecto es financiado en parte por el autor de la presente tesis y en otra parte por CONACYT, por ello los recursos son limitados y el desarrollo de prototipo propuesto está limitado en ese aspecto.

Las pruebas se desarrollarán en tres lugares distintos:

1. Elaboración de prototipos: Planta bloquera en Tenango del Valle, Estado de México.

2. Pruebas mecánicas y de propiedades índice de los materiales: En el laboratorio del Departamento de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana, campus Azcapotzalco.
3. Pruebas de conductividad térmica: Laboratorio de Entornos Sostenibles de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

1.2.2 Alcances

Diseñar, y fabricar un block de mortero con relleno de caucho para ser probado en distintas pruebas físicas y mecánicas, así como la elaboración de un modelo teórico en un programa de simulación energética para calcular, con los valores obtenidos, los distintos comportamientos de la interacción térmica del material diseñado con el material ya existente (block de concreto).

I.3 Planteamiento del problema

1.3.1 Consumo eléctrico en México

En México, según el Balance Nacional de Energía de la Secretaría de Energía hubo un aumento de consumo de energía en todos los sectores del 2016 al 2017 en 1.2%⁵ del cual, en concordancia con el CONUEE en 2018⁶ un 40% del consumo eléctrico residencial es destinado al confort térmico, este tipo de climatización artificial según la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares⁷ realizada en el año 2018 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) está clasificada en tres tipos principales:

- Ventiladores (torre, pared, techo)
- Aire acondicionado (central y de ventana, minisplit de encendido/apagado, minisplit inverter y de aire evaporativo o cooler)
- Calefacción (eléctrica y de gas)

De estas clasificaciones de climatización artificial también existe una estadística de uso dependiendo del tipo de región climática, que según el INEGI se divide en las siguientes regiones y estados:

- *Región Cálida Extrema:* Baja California Norte y Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, Sinaloa, Sonora y Tamaulipas.

⁵ Balance Nacional de Energía 2017, Secretaría de Energía (2018)

⁶ Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2016)

⁷ Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares, INEGI (2018)

- *Región Templada:* Aguascalientes, Ciudad de México, Colima, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala y Zacatecas.
- *Región Tropical:* Veracruz, Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán.

En el caso de la climatización por aire acondicionado se realizó la estadística que en la región cálida extrema el 48.1% de las viviendas cuentan con este sistema de climatización artificial, representando el **80%** del uso de este tipo de aparatos a nivel nacional, mientras que en la región templada solo el 1.3% de las viviendas lo tienen (4% del total nacional) y en la región tropical el 12.4% (16% del uso nacional).

De la misma manera en la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares, el INEGI realizó la estadística correspondiente al uso de sistemas de calefacción artificial en las tres regiones climáticas del país, obteniendo como resultado que en la región cálida extrema el 20.4% de las viviendas utilizan calefacción, mientras que en la región templada este porcentaje se reduce a 2.5% y en la región tropical a 1.6%. Es de importancia destacar que a nivel nacional solamente 6.3% de las viviendas utilizan algún tipo de equipo de calefacción⁸. De este conteo se calcula que la región cálida extrema utiliza el **79%** de los equipos de calefacción a nivel nacional, seguido por la región templada con el 19% y la región tropical el 1%.



Imagen 1: Climatización por aire acondicionado en México 2018.
Fuente: ENCEVI, INEGI (2018)

Dentro de esta encuesta se encontró que el porcentaje de tipo de calefacción por origen de fuente energética del 46.3% de origen eléctrico, mientras que de

⁸ Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares, INEGI (2018)

gas representa el 29.3% y otro tipo no especificado el 24.4%. Estas estadísticas se ven graficadas en la *Imagen 2*.

Así mismo se calculó que en las viviendas particulares en la región cálida extrema se aísla aproximadamente el 89.6% de los techos, **22.5%** de las paredes y el 13.9% de las ventanas.

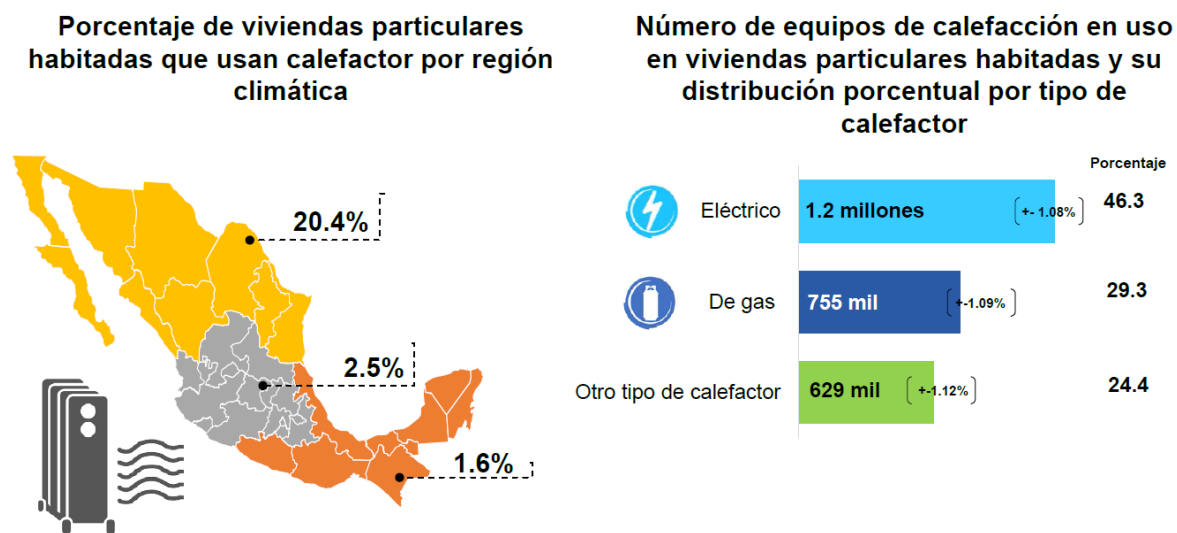


Imagen 2: Climatización por calefacción artificial en México 2018 Fuente: ENCEVI, INEGI (2018)

La problemática de este tipo de climatización artificial reside en el gasto de energía que implica el consumo eléctrico por sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado, por sus siglas en inglés). Así:

“...Con base en el Balance Nacional de Energía del 2017, el sector residencial, comercial y público ocupa el tercer lugar como gran consumidor energético en nuestro país. Durante la última década, el consumo energético en este sector se ha incrementado grandemente (SENER, 2017) a la implementación de materiales cuyas propiedades térmicas no son seleccionados de acorde a las condiciones bioclimáticas de la zona a implementar.9...”

El consumo eléctrico por sistemas HVAC tiene un impacto ambiental al incrementarse las emisiones de CO2 a la atmósfera ya que en México la energía eléctrica es generada en un 62% por petróleo crudo, 21.6% por gas

⁹ Secretaría de Energía (2017)

natural y 4.4% por carbón¹⁰, siendo un total de 88% la energía producida para consumo doméstico a base de hidrocarburos que, adicionalmente a ser un recurso no renovable es un contaminante de la atmósfera. De acuerdo con el INEGYCEI México ocupa el tercer lugar en el continente americano (5.97%) como productor de emisiones de CO₂ con 446.3 millones de toneladas por la quema de combustible. (1.38% de las emisiones mundiales) ¹¹

Por otra parte, el sector de cambio climático de las Naciones Unidas fomenta programas de apoyo económico e intercambio para la reducción de gases de efecto invernadero a través del tratado de París, del cual México forma parte e incluyó compromisos para reducir las emisiones de estos gases en un 22% para el año 2030.¹²

1.3.2 El Desecho

La raza humana es la única especie que tiene la capacidad de generar basura desde antes de nacer hasta incluso después de dejar de existir, pero esto no siempre fue así, no desde el inicio de la humanidad.

Si exploramos la historia del hombre podemos encontrar que el ser humano en sus orígenes no era capaz de generar basura, o al menos no basura que fuera contaminante pues una de las características del nomadismo era la necesidad de viajar ligero, exclusivamente con los utensilios mínimos indispensables para sobrevivir y cazar. Y aún estos eran de un origen totalmente orgánico, pudiendo ser desechados en cualquier lugar sin causar impacto ecológico alguno.

Posteriormente el hombre comenzó el sedentarismo, asentándose en lugares específicos y comenzó a producir basura por el consumo de vestimenta, el comienzo de los mercados y las necesidades fisiológicas. En la Roma Imperial, por ejemplo, ya se tenía una población de 700,000 personas aproximadamente, por lo que era una ciudad que producía basura, adicionalmente contaba con baños públicos y un sistema de drenaje.¹³

¹⁰ Balance Nacional de Energía 2017, Secretaría de Energía (2018)

¹¹ Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (2018)

¹² Naciones Unidas (2015)

¹³ Desvaux, M. (2010)

La historia de los desechos humanos apenas comenzaba, irresponsablemente siempre nos hemos creído los guardianes de la naturaleza, y que la misma nos pertenece a entera disposición, por lo que solamente hasta hace muy poco tiempo fue que nos dimos cuenta del daño irreparable que le estamos causando por el consumo irracional de materias primas y en otra parte por la generación excesiva de contaminación de todo tipo, esta inició con la llegada de la revolución industrial y la producción de bienes masivamente, pues comenzaron a dejar de ser tan indispensables e inasequibles y se acuñó el término desechable. Palabra que adquiere su máximo significado con la invención de los polímeros artificiales, que son materiales fabricados a base de petróleo, ideados para ser económicos y resistentes, y justo es el segundo término una de las principales causas de la problemática, son materiales desechables pero muy duraderos por lo que tardan demasiado tiempo en descomponerse. Los polímeros son el principal componente de los neumáticos.

1.3.3 El problema ecológico del neumático

Desde hace más de un siglo, los neumáticos han comenzado a ser un problema en el momento final de su vida útil, pues han sido construidos para ser resistentes, por lo que es difícil destruirlos incluso cuando ya son inservibles para su propósito.

A nivel mundial el tipo de desecho de basura de caucho representa un 9.5% del total de la basura generada por la humanidad¹⁴. Cuantificar la cantidad exacta de neumáticos desechados en todo el planeta representa un reto complejo y quizá inalcanzable, lo relevante es el localizar que existe un problema generalizado del incorrecto desecho de neumáticos, las complicaciones que genera y las posibles soluciones. Este problema, sumado a la poca conciencia social y escasa legislación que existe en la mayor parte del mundo son la causa de que los neumáticos sean desechados de manera incorrecta al ser en muchos casos abandonados en las calles. Pero el problema tiene



Imagen 3: Incendio de llantas en España. Fuente: Beston, world wide web

¹⁴ A. Bradford, (2018) Live Science

mayor complicación, pues incluso si son dispuestos en tiraderos autorizados, la acumulación de estos en sí causa una variedad de efectos nocivos:

1.3.4 Medio ambiente

La acumulación de llantas de desecho en tiraderos comienza una degradación química por el intemperismo, contaminando mantos acuíferos superficiales y profundos, así mismo destruyendo bacterias benéficas en el lugar y alrededores de los tiraderos de llantas.

1.3.5.1 Aire

Un gran problema con los tiraderos de llantas (que actualmente están prohibidos en algunos países europeos) es que se pueden suscitar incendios con gran facilidad y por la alta volatilidad de los compuestos de los neumáticos, es muy difícil poderlos controlar ya que se ha iniciado el fuego, por ejemplo, en septiembre de 1984 en Everett, Washington, Estados Unidos, un tiradero con aproximadamente 4 millones de llantas se incendió, siendo imposible de controlar por el departamento de bomberos y decidiendo dejarlo consumir, tardó 8 meses en apagarse¹⁵. Otro ejemplo de un incendio de un tiradero de llantas fue en Heyope, Reino Unido, en donde se incendiaron aproximadamente 10 millones de llantas, y se tardó en consumir 15 años, con todas las implicaciones de contaminación al medio ambiente, por aire y contaminando el río Teme con Fenoles (2,000mg por litro)¹⁶ cuyos efectos en la salud son cancerígenos y mutagénicos¹⁷. La quema de neumáticos principalmente genera una gran cantidad de gases tóxicos que son desprendidos a la atmósfera, los más importantes son:

Monóxido de carbono (CO); dióxido de azufre (SO₂); óxidos de nitrógeno (NO_x); bifenilos policlorados (PCB's); dioxinas; furanos; cloruro de hidrógeno (HCl); benceno; compuestos orgánicos volátiles (COV's); e hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH's)¹⁸. En vista de las capacidades calóricas de las llantas, una solución para su desecho es la producción de energía intentando reemplazar al carbón como fuente calórica. La energía proveniente de la quema de llantas es 25% mayor a la del carbón, pero contamina de la misma manera que éste por lo que no es una opción ecológica (Leather, T, 2010).

En el intento de aprovechar la energía potencial que encierran los neumáticos, se desarrolló un método de incineración mediante pirolisis, el

¹⁵ M. Riddle (2009)

¹⁶ R. Livsey (1990)

¹⁷ R. Bruce, J. Santodonato & M. Neal (1987)

¹⁸ M. Fuentes (2007)

cual por medio de descomposición termoquímica transforma los restos de neumáticos en combustibles y procura no contaminar el medio ambiente.

1.3.5.2. Plagas

Las llantas en abandono (ya sea en calles o en rellenos sanitarios) tienden a ser el nido ideal para la crianza de mosquitos, y por ende para su propagación, junto con las potenciales enfermedades que pueden portar. ¿Por qué? Por varias razones, la primera es que el agua acumulada dentro de las llantas es difícil de extraer y tiende a estancarse, manteniéndose en una temperatura media por el mismo aislamiento del material de la llanta, y por su forma, protege de amenazas externas. En un estudio



Imagen 4: Aedes Aegypti
Fuente: Designindaba,
world wide web

realizado por Rubio, A. et al. (2011) se encontró que el 33% de las llantas desechadas contienen agua, y el 65% de los sitios con llantas de desecho están infestados, en centro y Sudamérica principalmente por el mosquito *Aedes Aegypti*, transmisor de virus como el Zika, Dengue y Fiebre Amarilla. De la misma manera, en 2010 en Holanda se encontró una pequeña colonia de mosquitos *Aedes Aegypti* dentro y cerca de las propiedades de una compañía que se dedica a la importación de llantas usadas, sospechando que provinieron del sur de Estados Unidos¹⁹ Visualizando la facilidad de las colonias de insectos para poder incluso transportarse largas distancias anidadas en llantas usadas.

1.3.5 El problema de los NFUs en México

México es un importante productor de la industria llantera, según la *cámara nacional de la industria hulera* en el 2015 en nuestro país había registradas 8 plantas de fabricación y 3 centros de distribución de neumáticos de marcas nacionales e internacionales y esta industria produjo en el 2014 un poco más de 24 millones de unidades, de las cuales se exportaron casi 12 millones y se importaron aproximadamente 19 millones, dando un balance de 32,826,000 de neumáticos que se introdujeron al mercado nacional en ese año.

La distribución de producción de llantas se divide conforme a la siguiente tabla:

¹⁹ M. Enserink (2010) Science

| Tipo de llanta | % fabricación |
|----------------|---------------|
| Automóvil | 58 |
| Camión ligero | 25 |
| Camión | 8 |
| Otras | 9 |

Tabla 1: Porcentaje de fabricación por tipos de llantas en México Fuente: INECC, 2012

Otra fuente de ingreso del producto al país es por medio de importación de neumáticos usados desde Estados Unidos hacia las ciudades fronterizas, ya que la legislación norteamericana dicta que el neumático debe ser reemplazado al perder 3/32” de su superficie de rodamiento, mientras que la NOM-068-SCT-2-2014 establece parámetros de profundidad del dibujo de la llanta, en el caso de las llantas frontales o de dirección de 3.2mm mínimo y traseras hasta 1.6mm, condición crítica para el uso seguro de una llanta. Este diferencial de especificaciones legales ha generado que los comerciantes en la frontera importen llantas usadas hacia el territorio mexicano, sin considerar que tendrán una duración menor, se convertirán en desecho más rápidamente y a su vez reducen la seguridad de los usuarios.

Tan solo en el 2014, la Secretaría de Economía autorizó la importación de 1,036,000 neumáticos de desecho (de automóvil, camioneta y camión) y



Gráfica 1: Destino de neumáticos de desecho en México, fuente: Elshuaro world wide web

1,337,000 neumáticos para renovación, lo cual implica un importante ingreso de llantas con un reducido tiempo de vida útil.

Existe una estadística para la COCEF (Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza) la cual dicta que en los países industrializados se genera una

llanta de desecho por cada habitante al año, por lo que con esta consideración y según el último censo del INEGI en 2015 nos da como resultado alrededor de 119 millones de llantas desechadas en nuestro país, aunque un cálculo efectuado por la asociación Manejo de Llantas usadas A.C. que generó el Plan de manejo de neumáticos usados de desecho en el 2015 se estimó un desecho anual de aproximadamente 32 millones de llantas. En México se desechan al año aproximadamente 32 millones de neumáticos, de los cuales el 91% son abandonados en las calles, o tiros ilegales, mientras que solo el 2% es dispuesto en un centro de acopio para reciclarlo correctamente.

1.3.6 Conclusiones de la problemática

El aumento en el consumo de energía eléctrica en el sector de la vivienda en México se relaciona con una variedad de factores los cuales incluyen la falta de conciencia en el diseño y construcción, resultando en una inadecuada elección de materiales de acuerdo con las condiciones bioclimáticas, repercutiendo en la necesidad de utilizar sistemas de climatización artificial HVAC. Las horas de uso de dichos sistemas podría ser minorizadas si se tuviera una consciente elección de materiales con capacidades aislantes.

Por su parte la industria del neumático a nivel mundial es una economía importante por la generación y expansión de dicho insumo alrededor del mundo, esto implica un impacto ecológico de alta relevancia pues es hasta las últimas dos décadas que solamente algunas naciones de primer mundo se han preocupado por tratar al residuo de una manera adecuada para disponer de los neumáticos al final de su vida útil, determinando en algunos casos que la opción más viable es el reciclaje en alguna de sus formas, reduciendo el impacto ambiental. En México el porcentaje de neumáticos que son desechados de una manera consciente se sitúa en el 9% del total, por lo que es indispensable buscar maneras más eficientes y asequibles de reutilizar este material para el beneficio del medio ambiente y a su vez para concientizar a la población de la relevancia ecológica que implica el desear neumáticos irresponsablemente.

Ciudad Delicias, Chihuahua, al igual que otras ciudades en el estado, están en continuo crecimiento empleando como elemento constructivo el block de concreto común que no obedece a las necesidades térmicas aislantes específicas del sitio, implicando la necesidad del uso de sistemas HVAC, aumentando el consumo de energía eléctrica.

I.4 Sitio de estudio

Ciudad Delicias es una ciudad ubicada en el estado de Chihuahua, entre los paralelos 27°57' y 28°17' Norte y los meridianos 105°20' y 105°42' de longitud oeste, y una altitud entre 1,100 y 1,400msnm. Al norte colinda con los municipios de Rosales y Meoqui, al este con Meoqui y Saucillo, al oeste con Saucillo y Rosales y al sur con el municipio de Saucillo.²⁰ Cuenta con una extensión territorial municipal de 533.92km²

Tiene una población de 137,935 personas²¹ y una densidad de población de 258.73 habitantes por km²

El clima en la ciudad de Delicias, Chihuahua es extremo y se encuentra dentro de la clasificación de clima Cálido Extremo según el INEGI. El histórico de normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional de 1951-2010 registra el mes de junio como el más cálido con temperaturas máximas mensuales de 40°C y el mes más frío enero con una mínima mensual de -4.3°C²² con una precipitación mensual normal que varía entre 3.6mm en marzo hasta 69.7mm en agosto.

En las imágenes 5 y 6 se aprecian dos mapas de la República Mexicana, uno representando las

temperaturas máximas promedio y el segundo las temperaturas mínimas. Se puede apreciar que Cd. Delicias se encuentra en la escala de las temperaturas más altas del país y dentro de las temperaturas mínimas bajo cero.

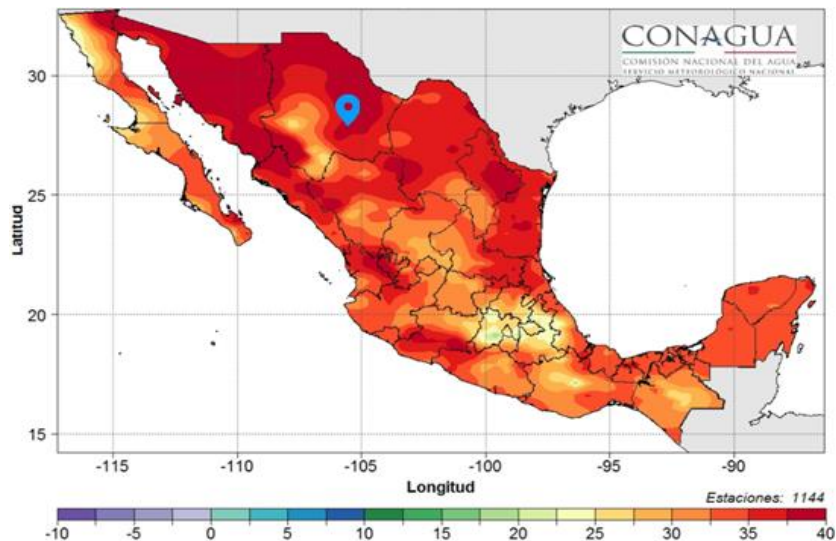


Imagen 5: Temperatura máxima promedio mensual en México (junio 2017) Fuente: CONAGUA

²⁰ Gobierno Municipal Cd. Delicias (2018)

²¹ INEGI (2010)

²² Servicio Meteorológico Nacional (2010)

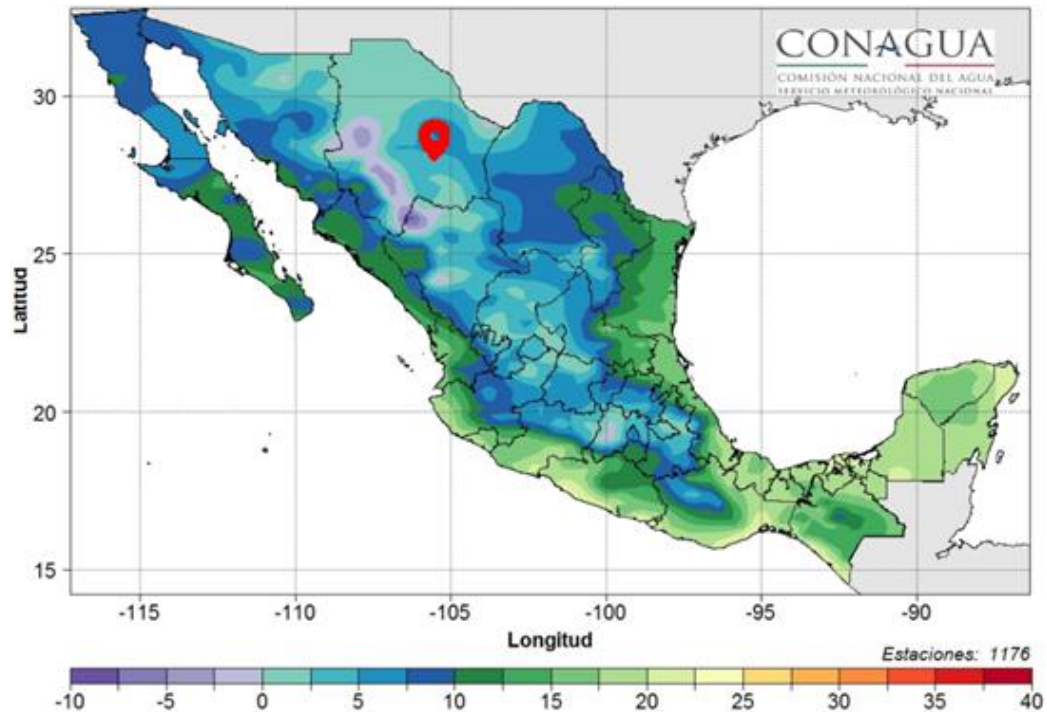


Imagen 6: Temperatura mínima promedio mensual en México (enero 2017) Fuente: CONAGUA

1.4.1 Elemento constructivo predominante

Según M.Fry:

“...En México, las estructuras construidas de bloque de cemento son muy comunes. Aproximadamente el 70% de las casas urbanas y una cantidad creciente de casas rurales son hechas de bloque. Para un material tan prevalente y popular, existen pocos estudios sobre la historia, la escala de uso, la producción, la economía política, el impacto sociocultural, así como las posibles consecuencias de los paisajes dominados por bloque de concreto.²³...”

Esta afirmación es aplicable para cualquier clima del país, incluso para el de Ciudad de Delicias, Chihuahua, en donde entre julio-noviembre del 2019 se estaba promocionando un subsidio por parte del municipio en donde se estandarizó el costo del material para cuartos de 4x4m (540 pzas),

²³ M.Fry (2008)

ampliaciones de cuartos de 4x4m (420 pzas) y construcciones de bardas perimetrales o baños (300pzas) y el municipio suministraba el material.

Una de las ventajas de los materiales y sistema constructivo moderno a base de block de concreto es la capacidad de construir más de un nivel, mientras que una desventaja es la necesidad de utilizar climatización artificial por la falta de propiedades térmicas aislantes de dicho material.

Con respecto a la calidad de la vivienda, M. Romo *et. al.*²⁴ realizaron un estudio de la problemática de las nuevas viviendas en Chihuahua, percibiendo que las desarrolladoras tanto públicas como privadas utilizan un esquema estandarizado de materiales económicos y espacios reducidos con materiales poco adecuados:



*Imagen 7: Casa de adobe en Chihuahua
Fuente: L. Guerrero (2007)*

“...el efecto ambiental que ocasiona la construcción de vivienda nueva donde predomina la construcción con block de concreto, material que no es adecuado para las condiciones climáticas de la región...”

I.5 Objetivos generales

Diseñar, fabricar, analizar y evaluar un material compuesto de concreto y caucho con propiedades térmicas mejoradas en comparación a un block de concreto comercial, cumpliendo con la normatividad.

I.6 Objetivos particulares

- Determinar el diseño de mezcla
- Determinar y evaluar la conductividad térmica del block con agregado de caucho reciclado
- Determinar y evaluar las características del caucho reciclado de neumáticos fuera de uso
- Efectuar prueba de compresión simple en blocks de 12x20x40cm
- Analizar y evaluar mediante EnergyPlus un caso de estudio específico utilizando el Neublock como elemento constructivo en muros.

²⁴ M. Romo, *et. al.* (2012)

I.7 Hipótesis

El agregar un material aislante a base de neumáticos fuera de uso (NFU) con la incorporación de las fibras, que actualmente es considerado como desecho, a un block de mortero, incrementa las propiedades de aislamiento térmico en éste, con la implicación de la reducción de consumo eléctrico por uso de HVAC en edificaciones.

I.8 Estructura de la tesis

Esta tesis está estructurada como sigue. En el **Capítulo I** se presenta la justificación de la tesis, alcances, limitaciones y el planteamiento del problema de la investigación. En el **Capítulo II** se presentan los antecedentes y el marco teórico que incluye los conceptos más importantes para que el lector se familiarice con la temática que aborda esta tesis. En el **Capítulo III** se presentan los principales trabajos reportados en el estado del arte y relacionados con el tema, se realiza un análisis de las ventajas y desventajas que presentan los mismos con relación a la presente investigación. En el **Capítulo IV** se aborda el desarrollo de la propuesta de esta tesis; la metodología, el procedimiento experimental. Por último, en el **Capítulo V** se presentan las conclusiones generales de la investigación.

II. Marco Teórico

II.1 Antecedentes

En este capítulo se aborda el sustento teórico del proyecto, que abarca desde las normativas térmicas en México, alusivas a la problemática, desde el contexto específico nacional, pasando por el procedimiento de reciclaje de los neumáticos, así como soluciones que se han buscado a nivel mundial para dicha problemática y la investigación de varias alternativas de solución locales que se han gestado para tratar de abatir este problema en México. Así mismo se plantea un acercamiento histórico, físico y químico a los materiales que están involucrados en el diseño, un polímero y un material compuesto cerámico.

II.1.2 Normatividad Energética

Desde principios de los años 90 en México se comenzó a implementar normatividad alusiva a la eficiencia energética en las envolventes para edificios tanto no residenciales (NOM-008) como para edificios residenciales

(NOM-020). Estas Normas Oficiales Mexicanas fueron aprobadas en el 2001 y en el 2011 respectivamente y se enfocan a el ahorro energético por acondicionamiento artificial del interior de la edificación para mantener el confort térmico, en cualquier tipo de edificación del país²⁵ por medio de la implementación de sistemas pasivos como materiales aislantes en techos, muros y ventanas, así como el uso de elementos para disminuir la ganancia térmica al interior por los vanos, como volados, ventanas remetidas y parte soles.

La determinación del ahorro energético se calcula por medio del modelado de un edificio de referencia (virtual) el cual cuenta con las mismas características geométricas que el edificio a construir o ampliar. Se realizan dos cálculos distintos, uno con criterios de materiales estándar tanto en partes opacas como transparentes de techos y muros, y otro cálculo con elementos aislantes térmicamente en estas mismas partes, utilizando sus respectivos coeficientes de conductividad térmica k para calcular la ganancia de calor teórica de ambos edificios. El criterio de aceptación es el siguiente:

$$\phi_p \leq \phi_r$$

Donde:

ϕ_p = Ganancia de calor del edificio proyectado

ϕ_r = Ganancia de calor del edificio de referencia



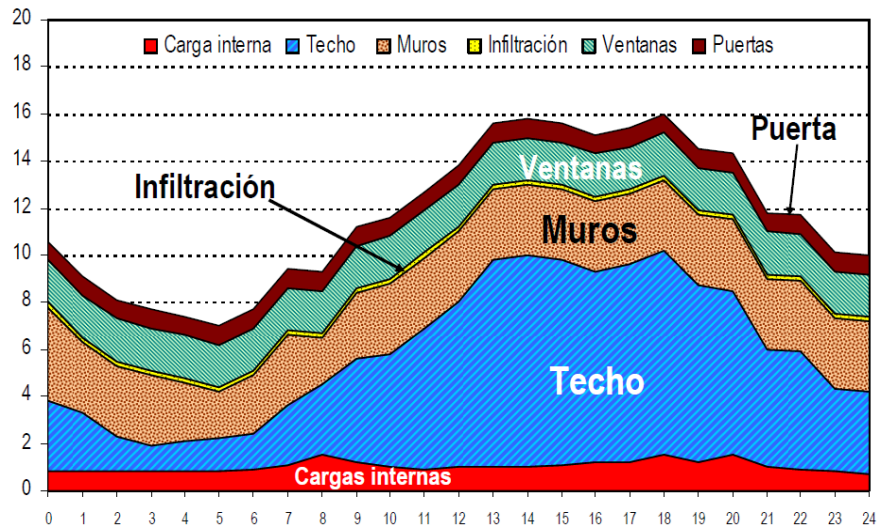
Al edificio que cumple con el supuesto mencionado se le otorga una etiqueta (ver imagen 8) con las características específicas como nombre y dirección, así como las ganancias de calor proyectadas en el edificio modelado de referencia y en el edificio real, para calcular un porcentaje de ahorro de energía.

Imagen 8: Etiqueta NOM-020-ENER-2011 Fuente: CONUEE (2012)

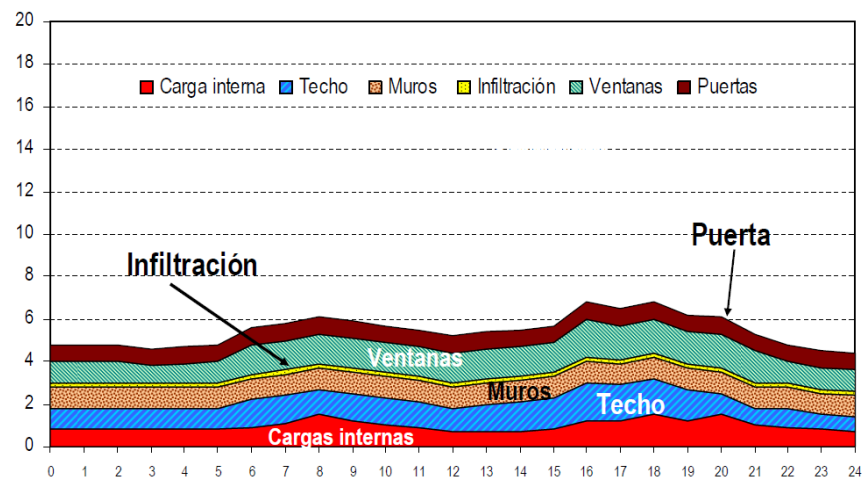
²⁵ Nava, R. (2019)

II.1.3 Aislamiento térmico

Según la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) el comportamiento térmico (ganancia) de una vivienda sin medidas de control pasivo²⁶ está dividido (Gráfica 2) en orden de mayor a menor magnitud de ganancia entre la 1p.m. y las 6p.m. por el techo, seguido por muros, ventanas, cargas internas, puertas e infiltraciones por falta del correcto sellado de ventanas y puertas.



Gráfica 2: Ganancias de calor en una vivienda sin medidas de control pasivo Fuente: CONUEE (2012)

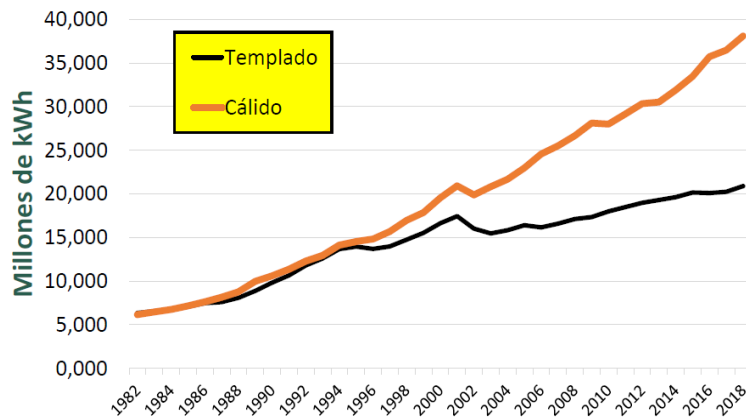


Gráfica 3: Ganancias de calor en una vivienda con techo y muros aislados Fuente: CONUEE (2012)

²⁶ Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2012)

¿Por qué es importante el aislamiento térmico en una vivienda?

Según las estadísticas²⁷, en México el consumo de energía por usuarios del sector residencial ha aumentado entre 1982 y el 2018 de poco más de 5,000 millones de kWh hasta casi 40,000. Y este aumento es más evidente en las zonas con clima cálido, principalmente por el uso de equipos de HVAC, como lo muestra la gráfica 4. Por lo que, tomando en cuenta que la principal fuente de producción de energía eléctrica en México son los hidrocarburos, se torna relevante el ahorro que se pueda obtener por medio de la reducción del uso de aparatos de acondicionamiento artificial vía el uso de materiales aislantes en las envolventes de las viviendas para mitigar en la mayor medida posible el impacto ambiental que este consumo representa.



Gráfica 2: Consumo eléctrico de sector residencial en México 1982-2018
Fuente: CONUEE (2012)

II.1.4 Reciclaje de llantas a nivel mundial

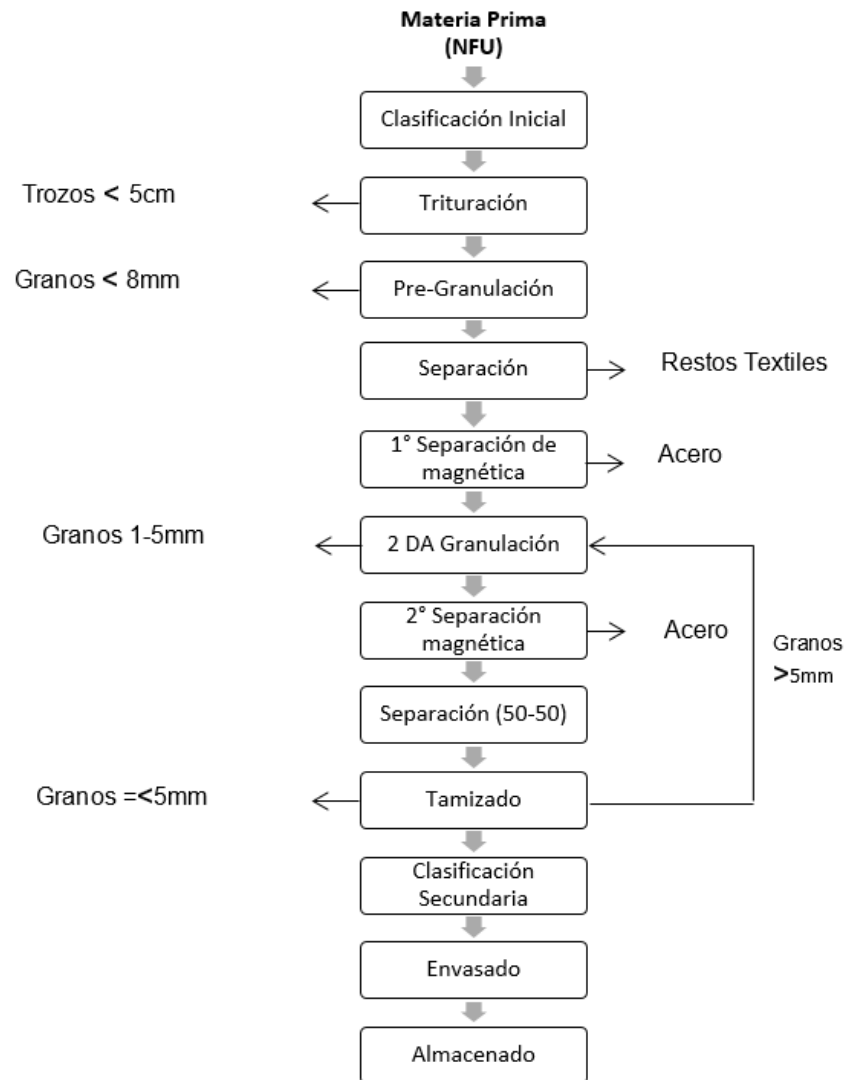
Cada vez es más común encontrar plantas alrededor del mundo que se dedican específicamente al reciclaje de llantas de desecho, neumáticos fuera de uso (NFU's) o Scrap Tires por su definición en inglés, y a partir de esta posibilidad de procesar las llantas fuera de uso se han comenzado a investigar con seriedad los distintos usos y productos en los que se puede integrar el caucho, acero y textiles que se extraen de los NFU's.

Algunos usos comunes de dichos materiales son principalmente como agregado en el asfalto, también para fabricación de reductores de velocidad, contenciones para autopistas y duelas de canchas deportivas al aire libre. Todos estos usos requieren de un tamaño específico del caucho de reciclaje, pues se produce de forma industrial desde polvo de caucho (malla 40-60), perdigón (1-4mm), granulado (12-15mm) y triturado (50-60mm).

²⁷ Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (2012)

El reciclaje de llantas produce también acero que se puede reutilizar para formar rollos laminados, y fibras textiles, que pueden tener uso en conformar algunos tipos de telas o fibras.

Las plantas de reciclaje de NFU's tienen en general el mismo proceso que se ejemplifica en el siguiente esquema:



Esquema 1: Procesos de reciclaje mecánico del NFU
Fuente: Recimex 2018

Una solución que se diseñó por el Dr. Gerardo Ulibarri de la Universidad Laurenciana de Canadá y aplicado en Guatemala consistió en un dispositivo llamado *ovillanta* fabricado con pedazos de llanta que funciona para atrapar mosquitos. En la etapa de pruebas se lograron atrapar y destruir 18,100 huevecillos de *Aedes Aegypti* con 84 dispositivos, disminuyendo la población potencial de este insecto.²⁸



Imagen 9: Orvillanta
D. Pinelo (2016)

II.1.5 México: plan de manejo de neumáticos usados de desecho

La asociación mexicana *Manejo Responsable de Llantas Usadas A.C.* en apego a la NOM-161-SEMARNAT-2011 generó el plan de manejo de neumáticos usados de desecho para idear estrategias aplicables a nuestro país y reducir el impacto negativo de este desecho.

El plan se divide en tres estrategias principales:

- Reusar
- Reciclar
- Reducir

II.1.5.1 Reusar

Los neumáticos se encuentran dentro de los 3 principales desechos con más alto índice calórico, solamente por debajo del poliestireno (10,000Kcal/kg) y el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) que tiene un índice de 8,300Kcal/kg. Los componentes de las llantas tienen un índice variable entre 6,000 y 7,000 Kcal/kg lo cual las convierte en una importante fuente de energía que se puede aprovechar como combustible alternativo, y que actualmente es una de las principales opciones que utiliza la industria cementera a nivel mundial, por medio del co-procesamiento.

En México existen 35 plantas cementeras de las cuales 16 tienen capacidad de co-procesamiento, su ubicación se muestra en la Imagen 10.

²⁸ B. Coxworth (2016)



Imagen 10: Plantas cementeras en México
Fuente: Cámara Nacional del Cemento

Dicha capacidad se puede cuantificar en toneladas (de neumáticos) por mes. Para el 2018 se tenía una capacidad aproximada de 19,500 toneladas distribuidas entre las 16 plantas, lo cual se traduce en una capacidad de 16 millones de neumáticos al año, aunque el uso de esta fuente energética en el 2011 era de solamente 2.6% (8,358,000

neumáticos al año)²⁹

La industria cementera ocupa el segundo lugar en consumo de energía a nivel nacional, por lo que la reducción de este consumo por medio del reciclaje es una importante aportación a la sustentabilidad energética del país. En la tabla 2 se muestran los porcentajes de consumo de energía por parte de las plantas cementeras en 2013.

| Tipo de Combustible | Consumo (Peta-Joules) | % del Consumo |
|---------------------|-----------------------|---------------|
| Carbón | 5.52 | 3.26% |
| Coque de petróleo | 75.94 | 59.83% |
| Petrolíferos | 2.9 | 1.42% |
| Gas seco | 9.09 | 3.06% |
| Electricidad | 30.49 | 23.96% |
| Residuos sólidos | 7.63 | 5.36% |
| Residuos Líquidos | 0.92 | 0.51% |
| Llantas | 3.35 | 2.6% |
| Total | 135.85 | 100% |

Tabla 2: Plantas cementeras en México
Fuente: SENER

Otro de los reúsos que se les da a las llantas de desecho en menor escala, por su fabricación y la cantidad de neumáticos que se pueden reciclar, es para fabricar mobiliario artesanal, tanto para espacios públicos, escuelas y venta de artesanía al menudeo. Así como la construcción de espacios arquitectónicos experimentales con neumáticos completos.

²⁹ Manejo Responsable de Llantas Usadas A.C. (2015)

II.1.5.2 Reciclar

Actualmente a lo largo de todo el país existen algunas plantas de reciclaje de neumáticos de desecho, de donde se generan diversos productos provenientes de la trituración en sus diferentes fases para aplicaciones como impermeabilizantes, canchas deportivas, piezas para piso y agregados para asfalto, entre otros.

Algunas de estas plantas se han establecido con recursos privados mientras que otras con el apoyo y difusión de asociaciones civiles con conciencia del problema, como Manejo responsable de llantas usadas A.C. Asociación que, con sede en la Ciudad de México, haciendo campañas a nivel nacional, enseñando la construcción ecológica con llantas usadas, brigadas de limpieza de neumáticos en municipios de Querétaro principalmente, y fomento de la artesanía a base de llantas usadas. A su vez tienen apoyo de algunas marcas de llantas que han visualizado el problema de la falta de reciclaje en México.



Imagen 11: Manejo responsable de llantas usadas A.C.



Imagen 13: Casa fabricada con llantas de desecho. Fuente: Manejo responsable de llantas usadas A.C. (2015)



Imagen 12: Mobiliario fabricado con llantas de desecho. Fuente: Manejo responsable de llantas usadas A.C. (2015)

II.1.5.2 Reducir

La reducción en el consumo de los neumáticos es posible por medio de la concientización generalizada con respecto al uso correcto de las llantas, incrementando su vida útil.

El conocimiento del buen uso de las llantas es promovido por medio de la *Guía para el cuidado de los neumáticos*, en donde se explica la importancia del mantenimiento correcto de la suspensión, inflado de llantas, problemas comunes y las afectaciones negativas que se tienen sobre las llantas, reduciendo su vida útil.

Otra estrategia para la reducción es el *Renovado* de llantas por medio del reencauchado, el cual es permitido en México para vehículos de carga y transporte de pasajeros (ejes traseros) y consta en renovar la superficie de

rodamiento de un neumático gastado, pero todavía dentro de su vida útil, colocando una capa de piso nueva por medio de una autoclave que une a los dos materiales.

II.2 Clasificación de materiales

II.2.1 Polímeros

Los polímeros son moléculas de gran tamaño en cadena, constituidos por eslabones orgánicos principalmente de Carbono e Hidrógeno denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes.

La mayoría de los polímeros comerciales son fabricados artificialmente para cumplir con una gran diversidad de aplicaciones, como son los plásticos, los adhesivos, hule, caucho, etc. También existen los polímeros naturales como lo son las proteínas, los polisacáridos, el caucho natural y los tejidos orgánicos.

El primer polímero artificial del que se tiene registro fue la celulosa, fabricada por John Wesley Hyatt en 1860 para sustituir el marfil en las bolas de billar. Éste se sintetizó a partir de la disolución de celulosa natural (hidrato de carbono) obtenida de plantas, con una solución de alcanfor y etanol. Éste es un polímero del tipo *termoplástico* pues tiene la capacidad de ablandarse al elevar la temperatura. El segundo polímero sintetizado de alta importancia fue la *Baquelita*, en 1909 a manos del químico Leo Hendrik Baekeland, mezclando fenol y formaldehído resultando un copolímero que no conduce electricidad, así como tiene la propiedad de poder moldearse al ser fabricado, para endurecerse una vez que se enfría y no reblandecerse de nuevo, naciendo el primero de los polímeros *termoestables*.

Las propiedades físicas y mecánicas de los polímeros incluyen la durabilidad, resistencia, elasticidad, son aislantes, ligeros y económicos. Pueden ser usados como matriz o como agregado de materiales compuestos para obtener propiedades superiores de un material común. Los polímeros ingenieriles de fabricación y especificaciones especiales pueden llegar a resistir temperaturas arriba de los 350°C, y usados como fibra, pueden llegar a tener resistencias superiores al acero.

Los polímeros sintéticos se clasifican en 3 grupos según su comportamiento termo-mecánico:



Imagen 14: Teléfono fabricado con Baquelita. Fuente: world wide web

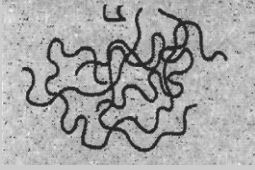
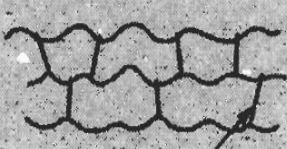
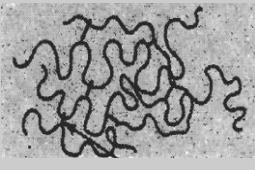
| Comportamiento Termo-mecánico | Estructura General | Diagrama | Características |
|----------------------------------|---------------------------------------|---|---|
| Termoplástico | Cadenas Lineales Flexibles |  | <ul style="list-style-type: none"> - Unión de monómeros - Plásticos y dúctiles - Se ablandan a altas temperaturas - Fácil reciclaje |
| Termoestable | Red Rígida Tridimensional |  | <ul style="list-style-type: none"> - Cadenas largas - Redes tridimensionales - Resistentes pero frágiles - Difícil reprocesamiento |
| Elastómero | Cadenas Lineales con Enlaces Cruzados |  | <ul style="list-style-type: none"> - Estructura Intermedia - Ligera formación de enlaces cruzados - Deformación elástica |

Tabla 3: Grupos de polímeros.
Fuente: Askeland, R.

Según su comportamiento existen distintas clasificaciones

| | | |
|------------|-----------------|---|
| Estructura | - Lineal: | Mismo tipo de Unión |
| | - Ramificado: | Cadenas laterales unidas a la principal |
| | - Entrecruzado: | Enlaces formados entre cadenas vecinas |
| | - Homopolímero: | Todos los monómeros son iguales |
| | - Copolímero: | Dos o más monómeros diferentes |

Algunos de los polímeros más comunes son los siguientes:

- *Policloruro de Vinilo (PVC)*: Alta tenacidad, resistente a la abrasión, impactos, aislante térmico, eléctrico y acústico. Se usa para instalaciones, recubrimientos, aislante, cortinas, ventanas.
- *Poliuretano (PU)*: Resistente a la corrosión, ligero, flexible, resistencia a químicos. Se usa como aislante y por medio de paneles.
- *Poliestireno y Poliestireno Expandido (PS y EPS)*: Aislamiento térmico, buen amortiguador, estable a altas y bajas temperaturas. Se usa en aislamientos térmicos, se puede utilizar como relleno de vacíos para fabricar concreto aligerado.
- *Polietileno de Alta Densidad (HDPE)*: Resistente a bajas temperaturas, ligero, impermeable, flexible, bajo mantenimiento. Se usa como aislante térmico para instalaciones sanitarias, hidráulicas, eléctricas; también hay tubería hidráulica de grandes dimensiones a base de este material.
- *Polietileno de Baja Densidad (LDPE)*: Es flexible, ligero e impermeable. Se utiliza principalmente para revestimientos y recubrimientos de obras.
- *Polipropileno (PP)*: Material muy ligero, con propiedades térmicas y mecánicas, alta resistencia a temperatura. Se usa para tubería hidráulica y sanitaria, membranas para techos.
- *Policarbonato (PC)*: Traslúcido o transparente, resistente a la temperatura. Se utiliza principalmente como sustituto o similar al vidrio.

- Politereftalato de etileno (PET): Transparente y ligero. Se utiliza para elementos al exterior por su resistencia a los rayos UV y los elementos climáticos.

II.2.2 Elastómeros

Los elastómeros (también conocidos como hules) son un tipo de polímero con propiedades mecánicas que incluyen la deformación bajo cargas exteriores, con posterior recuperación de su forma original, así como fácil estiramiento. Son polímeros cristalinos que se pueden reticular por vulcanización. Sus propiedades son intermedias entre los sólidos y los fluidos viscosos.

Originalmente se extrajeron del árbol *hevea brasiliensis* como caucho natural, en la época prehispánica en América para elaborar utensilios elásticos para rituales. Se tiene registro que los habitantes de las Amazonas lo usaban para elaborar prendas de vestir e impermeables, hasta 1823, que Charles Macintosh disolvió el caucho natural en nafta para elaborar prendas impermeables.

En las primeras aplicaciones del caucho, éste se descomponía con rapidez y comenzaba a emanar un mal olor, hasta que se descubrió la vulcanización y se pudo curar el caucho para evitar la pronta degradación.

Tipos de elastómeros:

| Hule | Características |
|--------------------------------|---|
| Estireno-Butadieno (SBR) | Económico, resistencia a la abrasión y disolventes |
| Hule Natural "Sintético" | Es el hule natural y también se puede sintetizar, aunque las propiedades elásticas son menores en el sintético |
| Polibutadieno (BR) | Económico, muy elástico y resistente a la oxidación, poca adherencia |
| Butílico | Copolímero, mejor resistencia a la oxidación y poca permeabilidad, baja elasticidad y alta absorción de vibración |
| Etileno-Propileno (EDT y EPDM) | Alto costo, muy buenas prestaciones mecánicas, alta resistencia a la oxidación, calor y químicos. |

| | |
|-------------|---|
| Neopreno | Alta resistencia al fuego y disolventes, mayormente usado como aislante de montajes en maquinaria industrial. |
| Nitrilo | Alta resistencia a aceites y abrasión. Se usa principalmente como sello. |
| Polisulfuro | Buena resistencia a disolventes y fidelidad al molde. Se usa como revestimientos, sellante y en la odontología. |

*Tabla 4: Tipos de elastómeros
Fuente: Askeland, R.*

II.3 El neumático

El neumático es definido por la Real Academia Española como sigue:

m. Pieza de caucho con cámara de aire o sin ella, que se monta sobre la llanta de una rueda.

Los neumáticos, en la definición que atañe al presente documento, son las piezas circulares que generalmente funcionan como el elemento más externo de una rueda, que se utiliza en la mayoría de los vehículos automotores en la actualidad, dichos neumáticos están compuestos principalmente por caucho junto con otros polímeros y químicos vulcanizantes.

El objetivo del neumático es proporcionar a la rueda una fricción tal que la tracción y el momento radial que genera la fuerza de un motor o el elemento que haga girar a la rueda, no superen la fricción del material sobre el que rueda, ya sea este concreto o asfalto. Adicionalmente proporciona un amortiguamiento por la elasticidad del neumático que generalmente se encuentra inflado a presión confinada.

Los neumáticos se pueden encontrar en vehículos con distintos tipos de motores, de carga, de pasajeros, aéreos, y personales como las bicicletas y motocicletas. La historia de los neumáticos comienza con la historia de la rueda.

II.3.1 Aparición de la rueda

La rueda, considerada como uno de los mayores inventos desde el origen de la humanidad, se cree fue desarrollada hacia el año 3,500 a.C. En la cultura

mesopotámica, con su uso en la elaboración de cerámica, sin embargo, no fue hasta 300 años después que se comenzó su uso para carruajes y su consecuente evolución de materiales, formas y funciones.

Es un invento derivado puramente de la creatividad humana, pues a diferencia de otros inventos no hay un análogo de la rueda en la naturaleza³⁰.

El siguiente paso de la rueda fue la aplicación práctica para transporte, primero mediante carretillas para posteriormente fabricar carruajes e ir mejorando el diseño y funcionalidad de la rueda, de la cual no se tuvo ningún avance importante hasta la aparición del neumático.

II.3.2 Origen del neumático

La aparición del neumático se remonta al año 1839, cuando la empresa Goodyear descubrió la vulcanización del caucho, y a partir de ese revolucionario descubrimiento diferentes compañías e inventores fueron añadiendo innovaciones subsecuentes como la cámara de aire (1887), el neumático desmontable (1891), el neumático radial (1946) entre muchos otros que con el avance de la industria química dio como resultado el neumático que hoy en día conocemos, con capacidades de carga, velocidad y resistencia definidas.

II.3.4 Composición

La composición de un neumático comercial consta de más de 200 componentes de origen tanto natural como sintético. Poco menos del 50% de la composición de un neumático está basado en el caucho. Los cuatro tipos de caucho en mayor abundancia en el neumático son:

- Cauchos Naturales (NR)
- Estireno-Butadieno (SBR)
- Polibutadienos (BR)
- Poli isoprenos Sintéticos (IR)

Las propiedades del caucho natural se ven complementadas por medio del uso de polímeros sintéticos, a su vez el uso de caucho natural en una proporción mayor para la producción mundial de neumáticos no es factible.

El Estireno-Butadieno (SBR por sus siglas en inglés *Styrene Butadiene Rubber*) es el polímero de mayor producción a nivel mundial y es considerado por sus propiedades mecánicas como la sustitución directa del caucho natural, por lo que en la fabricación de neumáticos funge como un elemento de relevancia mayor.

³⁰ M.Barbera, 1983

Por su parte, el Polibutadieno (BR) es un elastómero sintético del cual la producción mundial para el año 2000 era de 2.1 millones de toneladas (segundo lugar de producción de cauchos sintéticos, por detrás del Estireno-Butadieno) siendo esta producción destinada en un 70% para la industria del neumático.

La proporción se ha ideado para que los cauchos naturales provean elasticidad mientras que los sintéticos brinden estabilidad térmica.³¹ Los sintéticos permiten una deformación mucho mayor que otros materiales, y aun así recuperan su forma original.

Adicionalmente a los cauchos que contiene el neumático, está conformado por elementos adicionales necesarios para su fabricación y que posteriormente brindan las propiedades mecánicas, físicas y químicas indispensables para el correcto funcionamiento del neumático en condiciones de trabajo como carga y velocidad, o una conjunción de ambas.

Estos elementos, según sus propiedades físicas y químicas son:

- Rellenos reforzantes: Negro de humo (aumenta tenacidad y resistencia a la tracción)
- Fibras reforzantes: Hilos textiles e hilos de acero (aportan resistencia)
- Plastificantes: Aceites minerales (control de viscosidad, reducen la fricción interna durante la fabricación)
- Agentes vulcanizantes: Azufre (entrecruza las cadenas de polímero en el caucho)
- Acelerantes: Benzotiazol, óxido de zinc y ácido esteárico (aceleran el proceso de vulcanización, optimizando su fabricación)
- Retardantes: N-nitroso difenil amina.

³¹ G.Castro (2008)

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los componentes más importantes (en proporción) de un neumático:

| Componente | Automóviles (%) | Vehículos Pesados (%) | Función |
|-----------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|
| Caucho y elastómeros | 48 | 45 | Estructural-deformación |
| Negro de humo | 22 | 22 | Mejora oxidación |
| Refuerzos metálicos (Acero) | 15 | 25 | Esqueleto estructural |
| Refuerzos textiles | 5 | 0 | Esqueleto estructural |
| Óxido de Zinc | 1.2 | 2.1 | Catalizador |
| Azufre | 1 | 1 | Agente vulcanizante |

Tabla 5: Principales componentes en los neumáticos comerciales.
Fuente: world wide web

La vulcanización es un proceso químico indispensable para la fabricación de un neumático, ya que esta reacción con azufre a alta presión y temperatura es la que otorga a la elasticidad del caucho una mayor resistencia, auxiliando a recuperar su forma original sin llegar a su límite mecánico.

A continuación, se muestra una gráfica de esfuerzo - deformación del caucho natural y el caucho vulcanizado.

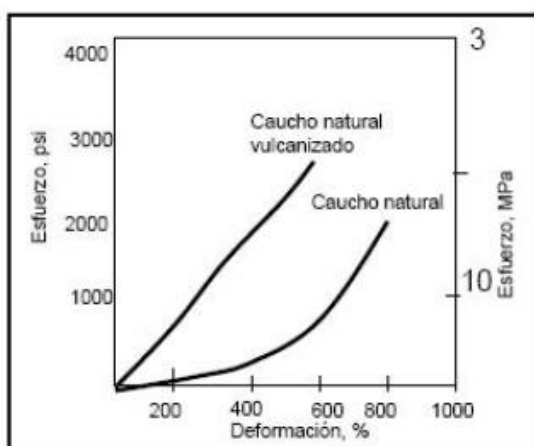
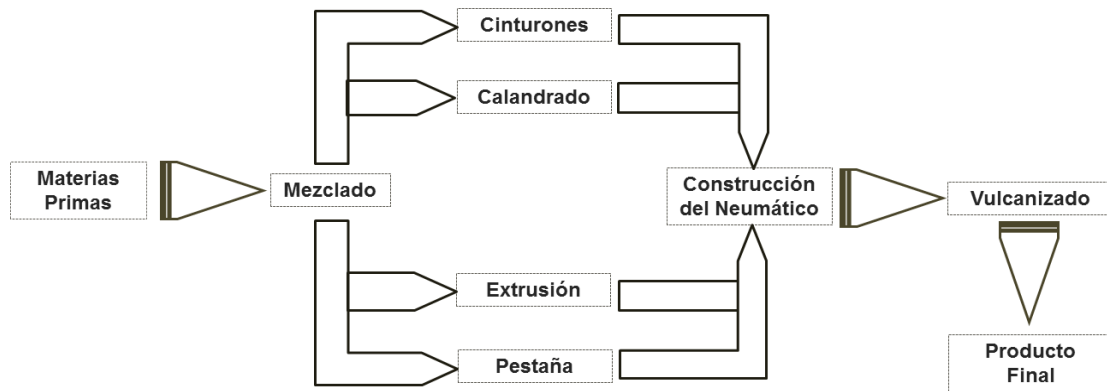


Imagen 15: Esfuerzo-Deformación de caucho natural y vulcanizado. G. Castro (2008)

Adicional a los compuestos que conforman el neumático, también se pueden clasificar los elementos que lo conforman, dentro de los cuales se destacan en promedio por fabricante y tipo de llanta y de mayor a menor abundancia:

Carbono, Hidrógeno, Azufre, Cloro, Hierro, Óxido de Zinc, Dióxido de Silicio, Cromo, Níquel, Plomo, Cadmio y Talio. Algunos de estos elementos son

nocivos para el ser humano, como lo es el Cloro y el Plomo, por lo que la inclusión de éstos en la fabricación de un neumático tiene que cuidarse en el momento que éste es desechado.



Esquema 2: Fabricación de un Neumático

II.4 Materiales cerámicos

Los materiales cerámicos son compuestos con elementos metálicos y no metálicos, encontrados de forma natural en su mayoría. Tienen una gran variedad de propiedades mecánicas y físicas, y por ello se han utilizado desde los orígenes de la humanidad, con aplicaciones como: Alfarería y ladrillos, porcelana, azulejos, tuberías, vidrio, etc. Algunas propiedades que poseen los cerámicos no las tiene ningún otro material.

La historia del uso de materiales cerámicos a lo largo de las civilizaciones se divide en 3 etapas cronológicas; preindustrial, de la revolución industrial y actual.

II.4.1 Etapa preindustrial

La alfarería surgió en varios puntos geográficos de forma independiente, desde aproximadamente el año 7,000a.C. (sin cocción) y cocida alrededor del año 4,500a.C. para usos diversos en las culturas antiguas, vasijas y recipientes de cerámica muy básica.

Con el surgimiento de la era metalúrgica, también nació la necesidad de buscar materiales que fueran resistentes a las altas temperaturas siendo usados como crisoles y moldes. Al principio fabricados con rocas graníticas y posteriormente con arcillas de alto punto de fusión.

Entre la edad media y la revolución industrial hubo grandes avances en las técnicas de fabricación de la cerámica.

La técnica de la porcelana China era prácticamente imposible de expandirse fuera de su país de origen, aunado al tipo de *caolín* endémico que se utilizaba para fabricarla, dando como resultado un material de alta calidad, más liviano y traslúcido que la arcilla cocida. Algunas piezas de ésta porcelana llegaron a Europa en la época de Marco Polo, provocando a los alfareros locales e incitando mejorar la técnica para poder imitar dicha calidad proveniente de un ancestral secreto.

No fue hasta el s. XVIII cuando un par de alquimistas alemanes llamados Ehrenfried Walter von Tschirnhausen y Friedrich Böttger inventaron un material al que llamaron Porcelana Dura, producto de la cocción a mayor temperatura de la usual de un caolín encontrado cerca de Meissen, y un feldespató. Asimismo, lograron vitrificar la capa superior de la masa elevando la temperatura en la última etapa de la cocción. Este material se utilizó como revestimiento y en cañerías de desagüe.

Posteriormente, en 1709, Böttger consiguió fabricar una porcelana parecida a la China, aunque más densa a la cual llamó *Porcelana Continental*, y fue usada para vajillas, usos químicos y posteriormente aisladores eléctricos.

En la época previa a la revolución industrial los principales impulsores de la industria de la cerámica fue la industria metalúrgica, que exigía materiales cada vez más resistentes a altas temperaturas y a los distintos procesos en los fundidos.

II.5 Revolución Industrial

Si bien la revolución industrial comenzó a mediados del siglo XVIII, la cerámica no vio un gran avance en sus procesos paralelo a las demás industrias debido a varios factores:

- Mecanización de procesos
- Sustitución de artesanos por especialistas
- Sustitución de manufactura por una gran industria

No fue posible conjuntar estos 3 componentes dentro de una producción en masa ya que la histórica elaboración de la cerámica dependía en gran medida de la materia prima, de los exiguos conocimientos sobre los procesos térmicos y de la imposibilidad de producir en serie. Estos factores condujeron inevitablemente privilegiar el secreto de la fabricación de la cerámica, retrasando su desarrollo hacia la época industrial. No fue hasta finales del **siglo XIX** que inició la revolución industrial para los materiales cerámicos a partir de la invención de distintos



Imagen 16: Conos pirométricos.
Fuente: world wide web

procesos de cocción como los hornos continuos (*Hoffmann*) y los hornos túneles.

No podría haber adelantos industriales sin tener previamente adelantos en ingeniería, como el caso de la invención del *cono pirométrico* (*Herman Seger*) que controlaba las temperaturas de los hornos en una época en donde no había instrumentación adecuada para lograrlo.

Posteriormente llegó la era de la electricidad, obligando a los materiales cerámicos a adentrarse a un nuevo campo con los aisladores eléctricos de alta tensión.

II.5.1 Época Actual

A mediados del **siglo XX** comenzó la era de los materiales cerámicos avanzados, diversificando el uso de este tipo de materiales para nuevos ámbitos de la tecnología, como la microelectrónica, la industria aeroespacial, biotecnología y producción de energía eléctrica. Este desarrollo de material no hubiera sido posible si no por la estandarización de las materias primas, así como mejoramiento de los procesos productivos. Uno de los aspectos más importantes en la fabricación de los cerámicos avanzados es el estudio de los ciclos térmicos y el diseño de los hornos de fabricación.

En general, los materiales cerámicos son duros y frágiles, con altos puntos de fusión, también suelen tener baja conductividad térmica y eléctrica.

Un “defecto” de este material es que sus propiedades específicas varían por cada pieza o unidad fabricada, por lo que la fragilidad es variable y la resistencia específica es única, cada pieza posee sus propias imperfecciones, únicas.

Propiedades Físicas

- Densidad: Los materiales cerámicos tienen densidades variables, que oscilan entre los 2.1 g/cm³ (grafito), y la gran mayoría se promedian entre los 3 y 4g/cm³ hasta llegar a los 15.70 g/cm³ (caso específico del carburo de tungsteno).
- Temperatura de Fusión: Se caracterizan por tener una temperatura de fusión muy alta, fluctuando entre 2,000 y 2,600°C
- Calor específico: En el caso del Al₂O₃, MgO, SiC y Mulita, el calor específico ronda alrededor de las 6 cal/g a 1000°C
- Coeficiente de expansión térmica: Poseen un C.E.T. entre 4% y 10% del aumento del volumen con respecto al aumento de la temperatura (de 0 a 1,000°C)
- Conductividad: La conductividad en el caso de los materiales cerámicos abarca todo el rango de posibilidades, ya que varía por

clasificación del material, en este rubro existen los cerámicos *Aislantes*, *Semiconductores*, *Conductores* y *Superconductores*.

Propiedades Químicas

Los materiales cerámicos tienen muchas variaciones dentro de su clasificación, por todas las configuraciones de distintos elementos que los conforman, pero químicamente suponen una estabilidad alta ante agentes químicos agresivos.

Propiedades Mecánicas

- **Fragilidad:** Los cerámicos son altamente frágiles, bajo una fuerza lo suficientemente potente, se fracturarán irreparablemente, son aún más frágiles con la presencia de imperfecciones o porosidades.
- **Dureza:** Los materiales cerámicos tienen una alta dureza más tienden a una fractura por su casi nulo nivel de elasticidad.

II.6 Cemento

El concreto como lo conocemos actualmente se deriva principalmente del cemento, el cual por definición básica es un material con propiedades adhesivas y cohesivas, y en el caso de la construcción se refiere a cualquier tipo de material que pueda aglutinar otros materiales como piedra, arena, grava, etc. Para formar una mezcla compacta y resistente.

La historia del cemento no es reciente, sus orígenes se remontan a los antiguos Egipcios, que utilizaban yeso impuro calcinado como aglutinante, también los griegos y los romanos utilizaron caliza calcinada, para posteriormente descubrir las ventajas de manipular la cal con agua, arena y piedra o tejas trituradas.

Los componentes y la técnica se fue afinando hasta que los Romanos llegaron a mezclar cal con ceniza volcánica o tejas quemadas trituradas, esto provocó que la sílice y alúmina de las cenizas se combinara con la cal para producir el cemento puzolánico. Algunos de los edificios más importantes y aún existentes de los romanos fueron edificados con este cemento.

Posteriormente hubo una disminución en la innovación y uso del cemento durante la edad media, hasta el siglo XVIII que John Smeaton descubrió la cal hidráulica, que se obtiene quemando cal y arcilla, pero no fue hasta 1824 que finalmente se descubrió y patentó el *Cemento Portland*, que es una mezcla de: arcilla triturada, caliza dura. Aun así, pasaron 20 años hasta 1845

que Isaac Johnson obtuvo el **clinker** gracias a una mayor calcinación de los mismos materiales antes mezclados. El proceso moderno de la fabricación del cemento y un dato importante para el éxito comercial que posee es que la materia prima con la que se fabrica se encuentra casi en todo el mundo (caliza, alúmina y sílice en forma de arcilla o pizarra). Se demuele finamente toda la materia prima y se mezcla con cierta proporción en un horno rotatorio donde se calina a 1,450°C. El material se funde parcialmente y forma el *Clinker*, al cual se le adición a una porción de yeso, resultando el *Cemento Portland*. Existen dos procesos para la fabricación de cemento, el húmedo y el seco; los cuales dependen de la ubicación geográfica de la fábrica que va de la mano con la saturación de las materias primas que lo van a conformar. Ambos procesos son muy parecidos, teniendo como ejemplo un esquema del proceso seco:

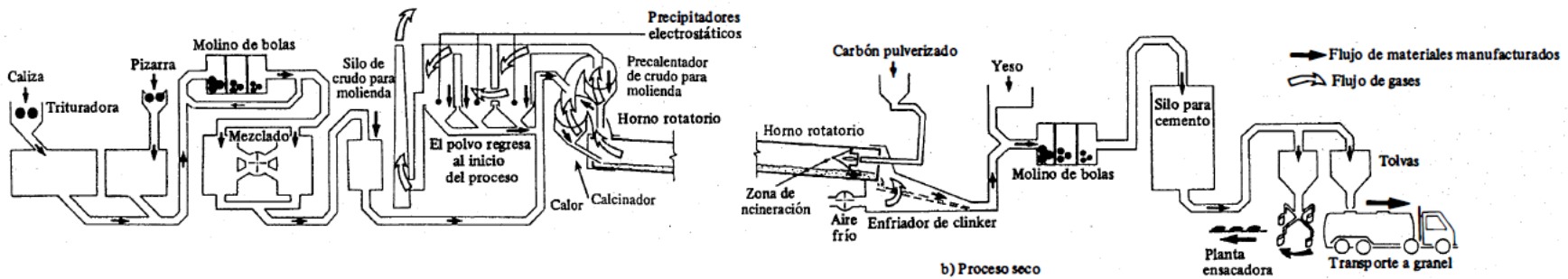


Imagen 17: Esquema de procesamiento de concreto en seco
Fuente: Neville, A.

II.6.1 Tipos de Cemento

a) Cemento Portland Común (Tipo I)

Es el más común de los cementos a nivel mundial (en Estados Unidos representa el 90% del total de cemento utilizado). Sus aplicaciones son versátiles en la construcción en general siempre y cuando **NO** haya contacto con *Sulfatos* o *Aguas Freáticas* en el suelo. La especificación es la norma europea ENV 197-1:1992.

b) Cemento Portland Común (Tipo II)

Este tipo de cemento es utilizado en donde se prevé contacto con sulfatos, puede ser utilizado en estructuras normales o elementos expuestos sulfatos provenientes del subsuelo o del contacto directo con agua, como puede ser el caso del concreto expuesto a agua de mar.

c) Cemento Portland de Endurecimiento Rápido (Tipo III)

Se trata de las subclases de cemento portland de 32.5 y 42.5MPa bajo la norma BS 12:1991. También se podría describir como un cemento de alta resistencia temprana, NO es lo mismo este cemento que el de fraguado rápido, aun así, el tiempo de fraguado inicial de ambos tipos es de < 45mins. El elemento que le proporciona la capacidad de endurecimiento es C3S entre 35-70%. Físicamente es más fino que el CPC y su resistencia comienza a aumentar entre las 10 y 20 horas y los 28 días. Pero entre los 2 y 3 meses las resistencias de este cemento y el CPC suelen igualarse, siendo posteriormente superada por el CPC. Este tipo de cemento también suele desarrollar una temperatura de fraguado más rápidamente.

d) Cementos Portland Especiales de Ultra Alta Resistencia Temprana

Este tipo de cementos son aún más finos que el cemento de Endurecimiento Rápido y tiene la capacidad de alcanzar las resistencias de dicho concreto en los siguientes rangos:

3 días – en 16 horas

7 días – en 24 horas.

Posterior a los 28 días, no hay una ganancia significativa de resistencia comparada con los cementos comunes.

Se fabrica separando los finos del cemento portland de endurecimiento rápido por elutriador de aire de ciclones.

Una desventaja de este tipo de cemento es el rápido fraguado entre los 70 y 95 minutos por lo que es de baja trabajabilidad.

e) Cemento Portland de calor bajo

(Tipo IV)

Cemento cubierto por la norma inglesa BS 1370:1979 genera un calor inferior en su proceso de endurecimiento, y se recomienda para ambientes en donde se necesita (adicional al bajo calor) protección contra un posible ataque moderado de sulfatos.

f) Cemento Resistente a Sulfatos

(Tipo V)

Existe una reacción en el cemento común entre el C_3A y el yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) formando un sulfoaluminato de calcio. Por lo que se formuló un cemento que tuviera un bajo contenido de C_3A entre 2.5-3.5% (Inglaterra), normado por medio de BS 4027:1991, y un contenido de C_3A de máximo 5% (EUA) norma ASTM C 150-94.

Este cemento posee cualidades similares de generación de calor como el cemento tipo IV pero su elaboración es costosa.

g) Cemento y Pigmentos Blancos

El cemento blanco es usado principalmente para recubrimientos en donde se necesita un color claro. Este color se logra reduciendo el óxido de hierro a menos del 0.3 % por masa de clinker, también se reduce el óxido de manganeso, se usa arcilla de porcelana, y piedra caliza libre de impurezas. El proceso de fabricación en horno tiene un costo elevado pues no se utiliza el molino de bolas que se usa para fabricar el cemento normal, en sustitución se utiliza una molienda en fragmentos de pedernal o bolas de aleación de níquel y molibdeno, en un molino forrado de material cerámico.

Esto implica que el costo de producción se eleve aproximadamente en 3 veces el costo del cemento portland común.

Al tener el beneficio del cemento de color muy claro existe la posibilidad de agregar un pigmento que le dé un color específico distinto al blanco:

- Óxidos de Hierro: Amarillo, rojo, castaño y negro
- Óxido de Cromo: Verde
- Dióxido de Titanio: Color blanco

Aunque no es común el uso de pigmentos en el concreto por la dificultad de homogeneizar el pigmento en la mezcla.

h) Cemento Portland de Alto Horno

Este tipo de cemento es un producto de moler clinker de cemento portland con escoria de alto horno granulada, seca, y yeso. Estos cementos tienen mayor resistencia al ataque químico y se pueden considerar como cementos

de bajo calor. Aunque su fabricación y uso está muy acotado en las normatividades.

i) Cemento Sobresulfatado

Se fabrica por medio de una mezcla de 80 a 85 % de escoria granulada de alto horno, más 10-15% de sulfato de calcio y un 5% de clinker.

Este cemento es altamente resistente al agua de mar y también resiste a los sulfatos que se pueden llegar a encontrar en agua freática, así como ácidos de turba y derivados de petróleo.

Es especial para construcciones de alcantarillas y suelo contaminado. Se ocupa mayor hidratación que en el cemento portland común.

j) Cementos Puzolánicos

El cemento puzolánico es una mezcla molida entre el cemento portland y puzolanas (material hidráulico latente). Tiene baja resistencia a los 7 y 28 días, pero es un cemento de bajo calor. También se considera que tiene resistencia a ataque de sulfatos y ácidos débiles.

k) Cemento de Alta Alúmina

Se diseñó el cemento de alta alúmina para resolver el problema de ataque por aguas portadoras de yeso, en Francia, pero su uso estructural es muy limitado por las propiedades tan diferentes al cemento portland.

Su composición es la siguiente:

- Alúmina: 40%
- Cal: 40%
- Óxidos Ferrosos: 15%
- Sílice: 5%

Adicionalmente puede encontrarse TiO_2 , magnesia y álcalis, dichos elementos se obtienen de la piedra caliza y la bauxita. El costo de producción y materias primas es alto, pero tiene propiedades muy peculiares como la resistencia al agua de mar (más la mezcla no debe ser elaborada con esta).

Alcanza el 80% de su resistencia en 24 horas, ($300Kg/cm^2$) en 6 horas y $400Kg/cm^2$ en 24 horas. Aunque el fraguado inicial se da en 2.5 horas y dura 30 minutos, por lo que se considera un cemento de fraguado lento.

II.7 Concreto

El concreto es una mezcla de pasta y agregados, la pasta es el cemento portland y agregados finos, gruesos y en ocasiones, aditivos.

La resistencia del concreto depende de la mezcla que se haya logrado con los *agregados*, es un material económico y ampliamente disponible a nivel mundial, por eso su uso es extenso.

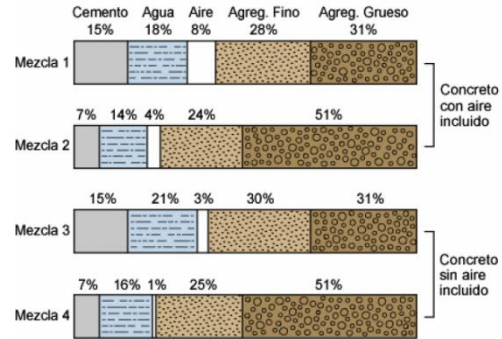


Imagen 18: Diagrama de mezclas de concreto. Fuente: Castellón, B.

II.7.1 Agregados Gruesos

Según la N-CMT-2-02-002/02 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México, los agregados son:

Materiales pétreos naturales seleccionados; materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado, o materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que se mezclan con cemento Portland y agua para formar concreto hidráulico.

Los agregados (gruesos y finos) los primeros erróneamente llamados *grava*, con anterioridad fueron despreciados como agentes de relevancia en el comportamiento físico, químico y mecánico del concreto, sin embargo a mediados de los 70's se comenzó a regular vía norma (en Inglaterra) la clasificación de los agregados, y con ésta se comenzó a dar la importancia dentro de la mezcla de concreto, concluyendo que, aunque el objetivo comercial de los agregados aparentemente era el economizar al concreto, (por el costo en masa y volumen de los agregados con relación al costo del cemento) en definitiva los agregados no son una masa inerte dentro de la mezcla, sino que sus propiedades son de gran importancia.

Según el ASTM en su norma C-331 un agregado grueso puede consistir en:

- Grava
- Grava triturada
- Piedra triturada
- Escoria de alto horno enfriada en aire
- Cemento hidráulico triturado.
- Mezcla de los anteriores

II.7.1 Dimensiones

Las dimensiones para México según las normas de la SCT para el agregado grueso deberán ser:

- Mínimo: 19mm (3/4")
- Máximo: 75mm (3")

También son considerados como agregados gruesos los *Fragmentos de Roca*, que son aquellos con tamaños mayores a 75mm o 3" y una masa máxima de 30kg, las rocas se emplean para la elaboración del concreto ciclópeo.

II.7.2 Sustancias Perjudiciales

Hay una serie de sustancias que se consideran perjudiciales cuando se encuentran en cierto porcentaje en los agregados gruesos, por reglamento de la SCT son las siguientes:

| Sustancias Perjudiciales | Contenido respecto a la masa total de la muestra % |
|--|--|
| Terrones de arcilla y partículas deleznales en <i>Concreto</i>: | |
| No expuesto a la intemperie | 10 |
| Expuesto a la intemperie | 5 |
| Sujeto a exposición frecuente de humedad o a tráfico abrasivo | 4 |
| Arquitectónico | 2 |
| Partículas de roca de sílice alterada con masa específica menor de 2.4 en <i>Concreto</i>: | |
| Expuesto a la intemperie | 6 |
| Sujeto a exposición frecuente a humedad | 5 |
| Arquitectónico | 3 |
| Suma de los contenidos de terrones de arcilla, partículas deleznales y de roca de sílice alterada en <i>Concreto</i>: | |
| Expuesto a la intemperie | 8 |
| Sujeto a exposición frecuente de humedad | 6 |
| Arquitectónico | 4 |
| Carbón y Lingito en <i>Concreto</i>: | |
| No expuesto a intemperie | 1 |
| Expuesto a intemperie | 0.5 |

Tabla 6: Sustancias perjudiciales en agregados gruesos.
Fuente: Neville, A.

| Malla mínima (mm) | Tamaño Nominal (mm) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| | 90 a 40 | 64 a 40 | 50 a 25 | 50 a 5 | 40 a 20 | 40 a 5 | 25 a 13 | 25 a 10 | 25 a 5 | 20 a 10 | 20 a 5 | 13 a 5 | 10 a 2.5 |
| Porcentaje Retenido Acumulado | | | | | | | | | | | | | |
| 101 (4") | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 89 (3 1/2") | 0-10 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 75 (3") | - | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 63 (2 1/2") | 75- 40 | 0-10 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 50 (2") | - | 30- 65 | 0-10 | 0-5 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 37.5 (1 1/2") | 85- 100 | 85- 100 | 30- 65 | - | 0-10 | 0-5 | 0 | 0 | 0 | - | - | - | - |
| 25 (1") | - | - | 85- 100 | 30- 65 | 45- 80 | - | 0-10 | 0-10 | 0-5 | 0 | 0 | - | - |
| 19 (3/4") | 95- 100 | 95- 100 | - | - | 85- 100 | 30- 65 | 45- 60 | 15- 60 | - | 0-10 | 0-10 | 0 | - |
| 12.5 (1/2") | - | - | 95- 100 | 70- 90 | - | - | 90- 100 | 60- 90 | 40- 75 | 45- 60 | - | 0-10 | 0 |
| 9.5 (3/8") | - | - | - | - | 95- 100 | 70- 90 | 95- 100 | 85- 100 | - | 85- 100 | 45- 80 | 30- 60 | 0-15 |
| 4.75 (N°4) | - | - | - | 95- 100 | - | 95- 100 | - | 95- 100 | 90- 100 | 95- 100 | 90- 100 | 85- 100 | 70- 90 |
| 2.36 (N°8) | - | - | - | - | - | - | - | - | 95- 100 | - | 95- 100 | 95- 100 | 90- 100 |
| 1.18 (N°16) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 95- 100 |

Tabla 7: Límites granulométricos en agregados gruesos.
Fuente: Neville, A.

II.7.2 Agregados Finos

Según cada norma internacional, el tamaño de los agregados finos varía, por ejemplo, en Europa (BS 882:1992) el tamaño máximo de agregado fino es de **5mm**.

Según la Norma Mexicana (N-CMT-2-02-002/02) el agregado fino puede variar entre **75 micrómetros** (malla 200) y **4.75mm** (malla No.4), pudiendo contener finos menores a 75 micrómetros de acuerdo a una proporción máxima definida.

Para el ASTM, en su norma C-331, los agregados finos consisten en arena natural, manufacturada o una combinación de las 2.

Existen límites granulométricos para el agregado fino en la norma mexicana, los cuales están definidos en la siguiente tabla:

| Malla | | Porcentaje Retenido Acumulado |
|--------|---------|-------------------------------|
| 9.5mm | 3/8" | 0 |
| 4.75mm | No. 4 | 0-5 |
| 2.36mm | No. 8 | 0-20 |
| 1.18mm | No.16 | 15-50 |
| 0.6mm | No. 30 | 40-75 |
| 0.3mm | No. 50 | 70-90 |
| 0.15mm | No. 100 | 90-98 |

Tabla 8: Límites granulométricos en agregados finos.

Fuente: Neville, A.

Para asegurar la homogeneidad del agregado, no se debe tener un retenido parcial de la masa total en cualquier malla, mayor al 45%.

En el caso de los agregados retenidos en las mallas No. 50 y No.100 podrán aumentar a 95% y 100% cuando se emplean concretos **con** aire incluido y un contenido de cemento mayor de 250kg/m³ o en concretos **sin** aire incluido y un contenido de cemento mayor a 300kg/m³.

También hay una regulación con respecto a las sustancias perjudiciales existentes en el agregado fino:

| Sustancias perjudiciales | Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra (%) |
|---|---|
| Terrones de arcilla y partículas deleznales | 1 |
| Carbón y lignito: En concreto aparente | 0.5 |
| En concreto de otra índole | 1 |
| Materiales finos que pasan la malla No. 200: Para concreto sujeto a desgaste | 3 |
| Para concreto de otra índole | 5 |

Tabla 9: Sustancias perjudiciales en agregados finos.
Fuente: Neville, A.

*En el caso de Materiales finos que pasan la malla No. 200, si el material está formado por el polvo producto de la misma trituración (exentando arcillas o pizarras) el límite podrá aumentarse hasta el 5% y 7% respectivamente. En casos especiales es tolerable que haya cierto porcentaje de material que pase la malla No. 200

| Límite Líquido (%) | Índice Plástico (%) | Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra (%) |
|--------------------|---------------------|---|
| Hasta 25 | Hasta 5 | 18 |
| | de 5 a 10 | 14 |
| | de 10 a 15 | 9 |
| de 26 a 35 | Hasta 5 | 15 |
| | de 5 a 10 | 11 |
| | de 10 a 15 | 7 |
| de 36 a 45 | Hasta 5 | 12 |
| | de 5 a 10 | 9 |
| | de 10 a 15 | 6 |
| de 46 a 55 | Hasta 5 | 9 |
| | de 5 a 10 | 7 |
| | de 10 a 15 | 5 |

Tabla 10: Límites para agregados finos que pasan la malla No. 200.
Fuente: Neville, A.

II.7.2.1 Impurezas orgánicas

Es deseable que el agregado no contenga impurezas orgánicas que produzcan una coloración más oscura que la de la solución normalizada. La presencia de impurezas orgánicas es empleable siempre y cuando la coloración sea causada por carbón mineral, lignito o partículas similares. O que al probarse la resistencia relativa a la compresión del mortero a 7 y 28 días sea mayor del 95%

II.7.2.2 Reactividad con los álcalis del cemento

Si se detectan partículas de sílice reactivo en el examen petrográfico, se tiene que verificar experimentalmente la expansión al método de prueba de las barras de mortero. Si se demuestra que los agregados son inocuos, podrán ser utilizados ilimitadamente, de lo contrario tendrán que someterse a una segunda prueba de expansión mediante mortero hecho con un cemento de alto contenido de álcalis. Si la expansión del concreto a 6 meses resulta **0.05%** o menor, los agregados se podrán utilizar sin restricción. Si está entre 0.05% y **0.1%** su uso se restringirá a concretos en condición de servicio seco, o usando cemento con bajo contenido de álcalis.

Si la expansión es igual a **0.1%** o mayor, solo podrán ser utilizados en concretos con cemento de muy bajo contenido de álcalis.

II.7.2.3 Agua y Aditivos

El agua es el componente fundamental para el inicio de la reacción química de los *Silicatos Tricálcico y Dicálcico, Aluminato Tricálcico y Aluminoferrita Tetracálcica* del cemento. La mezcla de dichos elementos y el agua forman lo que se conoce como *pasta de cemento hidratada*.

El agua que se usa para las mezclas de cemento debe cumplir ciertas características y límites de contenidos, pues usar cualquier tipo de agua puede afectar al fraguado, resistencia o acabado del concreto final.

Un rasgo peculiar del agua con respecto al concreto es que mientras algunos tipos de agua pueden afectar al concreto ya endurecido, ese mismo tipo de agua puede ser inofensivo o benéfico para el mezclado.

El agua para mezclado no debe contener cantidades cuantiosas de sustancias orgánicas ni inorgánicas; según *A. Neville (1995)* no hay normas que prescriban explícitamente la calidad del agua de mezclado, pero existen investigaciones alusivas a los efectos benéficos y adversos de algunos tipos de aguas empleadas.

Un parámetro para la detección máxima deseable de partículas en el agua es que deberá ser apropiada para beber, ya que los sólidos inorgánicos de dicha agua se encuentran entre **1,000 y 2,000 ppm**. La excepción a esta regla es

que en algunas áreas áridas el agua potable para consumo humano es salina y puede contener cloruros.

Por otro lado, si no se persigue utilizar agua apta para beber, se tiene otro parámetro cuantitativo con respecto al **pH** que debe encontrarse entre **6.0** y **8.0**, con un máximo de **9.0**.

Si se tiene agua con alto contenido de sólidos suspendidos, se deberá dejar reposar en un estanque de almacenamiento previo a su uso, con un límite de **turbidez de 2,000 ppm**.

Si se encuentran *algas* en el agua, se consideran como *inclusión de aire*, así mismo se debe de probar el agua que las contenga.

En el caso del **agua de mar**, ésta tiene una salinidad de casi 3.5% más no se considera del todo indeseable para la calidad de la mezcla, pues se ha observado que a corto plazo produce una resistencia ligeramente más alta, aunque a largo plazo la resistencia del concreto puede disminuir hasta un permisible 15%. Un detalle importante del agua de mar es que tiende a causar humedad persistente y *efluorescencia superficial*, por lo que su uso no se recomienda para elementos aparentes ni con acabado final de yeso.

Finalmente es importante considerar que los agregados finos y gruesos también pueden contener humedad superficial por lo que deberá observarse que dicha agua no sobrepase el límite de materiales perjudiciales previamente mencionados.

II.7 Normatividad

NMX-C-441-ONNCCE-2013

“Industria de la construcción – Mampostería-Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural, especificaciones y métodos de ensayo”

NMX-C-024-ONNCCE-2012

“Industria de la construcción – Mampostería – Determinación de la contracción por secado de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de ensayo

NMX-C-036-ONNCCE-2013

“Industria de la construcción – Mampostería – Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines – Método de Ensayo

NMX-C-037-ONNCCE-2013

“Industria de la construcción – Mampostería – Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de prueba

NMX-C-038-ONNCCE-2013

“Industria de la construcción – Mampostería – Determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones – Método de Prueba

ESPECIFICACIONES MECÁNICAS DEL BLOCK MACIZO

Según la NMX-C-441-ONNCCE-2013 la resistencia a compresión requerida por tipo de block no estructural se rige por la siguiente tabla:

| Tipo de pieza | Configuración | Resistencia media f_p MPa (kg/cm ²) | Resistencia mínima individual f_{pmin} MPa (kg/cm ²) |
|--------------------|---------------------|--|---|
| Bloque | Macizo o hueco | 3.5 (35) | 2.8 (28) |
| Tabique extruido | Macizo o hueco | 4.0 (40) | 3.2 (32) |
| Tabique artesanal | Macizo | 3.0 (30) | 2.4 (24) |
| Pieza para celosía | Cara rectangular | 2.5 (25) | 2.0 (20) |
| | Cara no rectangular | 2.5 (25) | 2.0 (20) |

Tabla 11: Resistencia a compresión de bloques no estructurales. Fuente: NMX-441-ONNCCE-2013

Clasificación

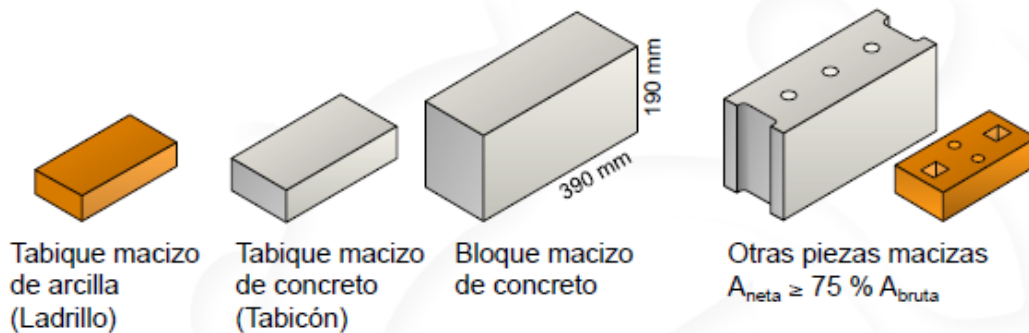
Por sus Dimensiones

Bloque: Dimensiones nominales de 20x40

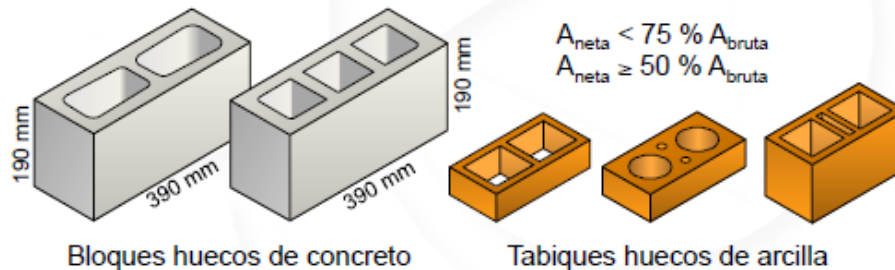
Tabique: Menores dimensiones que los bloques

Por sus Materiales

- Arcilla
- Concreto
- Otros materiales



Ejemplos de piezas macizas



Ejemplos de piezas huecas

Esquema 3: Tipos de piezas según la ONNCCE (2012)

Tipos de piezas

Pieza maciza

$$A_{neta} \geq 0.75 A_{bruta}$$

Paredes exteriores $\geq 20\text{mm}$ tabiques o tabla 1 en bloques

Pieza hueca

$$A_{neta} \geq 0.5 A_{bruta}$$

Paredes exteriores $\geq 15\text{mm}$, interiores $\geq 13\text{mm}$ tabiques o tabla 1 en bloques

Pieza multiperforada

7 o más perforaciones uniformes

Paredes interiores $\geq 7\text{mm}$ para tabiques o $\geq 10\text{mm}$ en bloques

III. Estado del arte

III.1 Investigaciones de polímeros de reciclaje como agregado

En años recientes ha habido un auge en la investigación de los agregados reciclados como componente de elementos de la construcción, como blocks, concreto y asfalto. Dentro de éstos se encuentran los polímeros, de los cuales se han intentado diversas combinaciones, algunas con éxito y otras no, aunque en México todavía no se llega a una comercialización tal que pueda sustituir a los elementos de construcción tradicionales para aprovechar la bondad ecológica que un material reciclado puede ofrecer.

III.2 Propiedades mecánicas de concretos estructurales con sustitución parcial de agregado fino por caucho de llanta

En el 2013 *Granzotto, L. et al.* Realizaron una investigación en Brasil para determinar los efectos a las propiedades mecánicas que genera la adición de caucho de llanta en la forma de polvo, sustituyendo el agregado fino de la mezcla. En el caso de Brasil, según la Brazilian National Association of Tire Industry³² las llantas están compuestas por los siguientes elementos:

| Elemento | Porcentaje (%) |
|------------------|----------------|
| Carbón | 20 |
| Hidrógeno | 7 |
| Óxido de Zinc | 1.2 |
| Azufre | 1.3 |
| Hierro | 15 |
| Otros compuestos | 55 |

Tabla 12: Componentes de las llantas de acuerdo con Granzotto, L. et al (2013)

Según esta asociación, la degradación de los neumáticos fuera de uso tarda entre 400 y 800 años, por lo que la legislación brasileña incluye normatividad ecológica con respecto a estos desechos, en sus normas

NBR 10004, 1005, 1006 (ABNT, 2004^a, 2004^b Y 2004^c respectivamente) en donde indica que: Cualquier llanta de desecho por recauchutado o trituración

³² <http://www.anip.com.br>

puede ser considerada como un desecho adecuado para su uso en compuestos de concreto o mortero en la obra civil.

Afortunadamente, en Brasil existe legislación que obliga a los productores de llantas a hacerse responsables por la recolección de todas las llantas que pesen más de 2kg, a nivel nacional³³

La miga de caucho que se utilizó en la elaboración de la mezcla para dicha investigación se encontró con una dimensión promedio de 2mm, la cual corresponde a la granulometría del agregado fino, y con una densidad calculada de 570kg/m³ se decidió hacer una sustitución entre el 5% y el 15% del agregado fino por la miga de caucho.

La proporción de la mezcla fue dosificada con proporciones 1:2:3 (cemento: arena: grava) con una ligera variación de contenido de agua para poder obtener una mezcla homogénea y trabajable. Las proporciones se basaron en la tabla 13.

Granzotto tenía como objetivo un revenimiento para todas las muestras de 6.5cm. En las muestras de concreto de referencia lo logró sin problema, sin embargo, en las mezclas que incluyeron caucho la trabajabilidad disminuyó por lo que fue necesario adicionar mayor cantidad de agua a la mezcla.

| Concreto | | Variaciones de mezcla 1:2:3 (cemento: arena: grava) | | | | |
|----------|----------|---|-------|--------|-------|--------------|
| | | Cemento | Arena | Caucho | Grava | Agua/Cemento |
| C20 | Estándar | 1 | 2 | 0 | 3 | 0.63 |
| | 5% | 1 | 1.9 | 0.1 | 3 | 0.58 |
| | 10% | 1 | 1.8 | 0.2 | 3 | 0.55 |
| | 15% | 1 | 1.7 | 0.3 | 3 | 0.55 |
| C25 | Estándar | 1 | 2 | 0 | 3 | 0.54 |
| | 5% | 1 | 1.9 | 0.1 | 3 | 0.58 |
| | 10% | 1 | 1.8 | 0.2 | 3 | 0.58 |
| | 15% | 1 | 1.7 | 0.3 | 3 | 0.57 |

Tabla 13: Proporciones en mezclas experimentales, Granzotto, L. et al (2013)

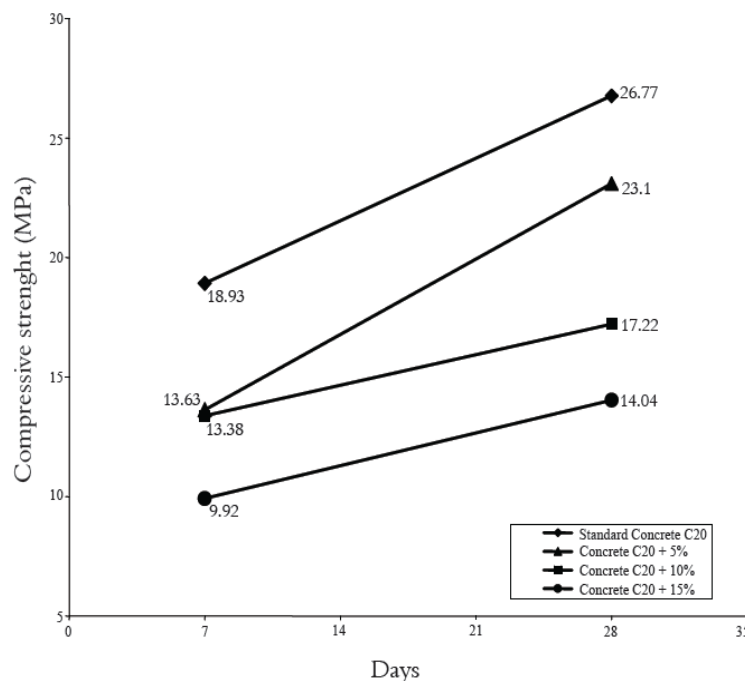
³³ Resolución 416, Artículo 1

Un dato importante es la variación de densidad del concreto con respecto a la inclusión de caucho, que, por tener un peso específico menor a la arena, la adición de éste es inversamente proporcional a la densidad de la mezcla final, como lo demuestra la siguiente tabla:

| Material | Densidad en peso (kg/m ³) |
|--------------------|---------------------------------------|
| Concreto C20 | 2,430 |
| Concreto C20 + 5% | 2,364 |
| Concreto C20 + 10% | 2,259 |
| Concreto C20 + 15% | 2,188 |
| Concreto C25 | 2,420 |
| Concreto C25 + 5% | 2,344 |
| Concreto C25 + 10% | 2,298 |
| Concreto C25 + 15% | 2,239 |

Tabla 14: Densidades de mezcla de concreto por variación de porcentaje de caucho, Granzotto, L. et al (2013)

Las pruebas mecánicas que se efectuaron en las muestras, a 7, 14 y 28 días fueron de resistencia a la compresión y resistencia a la tracción, en donde, como hemos visto en investigaciones anteriores, hubo una reducción de resistencia a ambas pruebas conforme se fue incrementando el contenido de caucho en la mezcla, representado en la siguiente gráfica:



Gráfica 3: Resistencia a compresión de las muestras entre 7 y 28 días. Granzotto, L. et al (2013)

René Esqueda Torres realizó una investigación experimental (2014) para fabricar tabicones con Polietileno Tereftalato (PET) como una parte de su agregado, para que pudieran cumplir con la norma mexicana que atañe al rubro del tabicón (NMX-C-404-ONNCE-2012).

Se inició con el experimento, haciendo 4 muestras de TABIPET (así denominado por el autor)

- 1) 20% de peso de agregados gruesos sustituidos por PET
- 2) 30% de peso de agregados gruesos sustituidos por PET
- 3) 30% de peso de agregados finos sustituidos por PET
- 4) 50% de peso de agregados finos sustituidos por PET

Después de la elaboración, colado y curado de los TABIPET, se procedió a hacer las pruebas correspondientes, principalmente la prueba de compresión que obtuvo resultados variados:

Muestra 1) Cumple con resistencia a compresión, pero tiene un peso superior al deseable

Muestra 2) No cumple con la resistencia mínima a la compresión (100Kg/cm²)

Muestra 3) Cumple con resistencia a compresión y al peso ideal.

Muestra 4) No cumple con la resistencia mínima a la compresión (100Kg/cm²)

La siguiente prueba fue el ensayo de absorción de agua, y en esta prueba los TABIPET que la superaron no tenían las cualidades necesarias para cumplir con la norma (peso y/o resistencia a la compresión) por lo que se concluyó que posiblemente la manera ideal de fabricar TABIPET es con agregados post-consumo pero con una mayor trituración (menor granulometría) para que no afecte al peso del tabicón, añadiendo el hecho de que en México el mercado de PET reciclado aún es escaso pues no hay mucha concientización en el país, aunque no se descarta la posibilidad de que en un futuro, con otras pruebas, se pueda lograr fabricar un TABIPET que cumpla las especificaciones.

Podemos observar en el trabajo de Esqueda que hubo una importante incursión a la fabricación de tabicones puesto que el objetivo era que estos se tropicalizaran integrándose a una norma mexicana, que, aunque sin éxito, estableció el precedente de la trituración que se necesitará para posteriormente fabricar un tabicón adecuado.

III.3 Llancreto

La empresa mexicana CEMEX desarrolló comercialmente un concreto al cual llamaron *Llancreto ECO* (Patente 865771) que manifiesta ser es concreto con agregado de caucho reciclado de llantas de desecho, el cual la empresa afirma puede ser utilizado para fabricar vialidades, pavimentos, canchas deportivas, banquetas, andadores y capas de nivelación en pisos o losas.

LLANCRETO
eco

Dicho concreto es suministrado directamente de la planta como prefabricado, y con revenimientos de 10, 14 y 18cm. La masa unitaria afirma ser desde 1,900 hasta 2,100kg/m³ y contar con resistencia a la compresión f'c desde 150 hasta 300kg/m². Dentro de las ventajas adicionales al concreto estándar la empresa afirma que la incorporación de caucho reciclado modifica la falla frágil e “incrementa su capacidad para absorber grandes cantidades de energía previas a la falla”³⁴

Así mismo otra característica que se afirma del *llancreto* es que produce un comportamiento dúctil y “acepta grandes deformaciones posteriores al primer agrietamiento y previas a la falla total del concreto”¹¹

Como elemento de venta se menciona que el producto puede sumar entre 6 y 9 créditos LEED. Este tipo de concreto ha sido usado para construir varias obras como la ciclovía adosada a la carretera León-San Francisco del Rincón, en Guanajuato, México, así como una planta de motores de Volkswagen en Silao, Guanajuato, y una plancha de concreto de 30has para la misma marca.

III.4 Estudio del agregado de caucho para la fabricación de block de manera industrial.

En el 2016 *E. Sodupe-Ortega et. al.* Hicieron un estudio de la factibilidad de utilizar el caucho de desecho como sustitución parcial del agregado fino en la mezcla para fabricar block hueco y tabique de manera industrial. El análisis técnico-económico resume que, al menos en España, es costosa la inclusión de dicho material por el procedimiento que conlleva el reproceso de la llanta de desecho.

Para las pruebas experimentales se utilizaron los siguientes materiales (en condiciones similares a las de producción de la planta industrial):

- Cemento:

Cemento Portland ASTM Tipo II con densidad de 3,150kg/m³ provisto por Cementos Portland Valderrivas, S.A.

- Agregado Fino:

Arena de piedra caliza proveniente de una cantera local, tamaño de agregado fino de 0 a 4mm, densidad relativa 1,634kg/m³ y módulo de fineza de 3.13.

- Miga de Caucho:

Material de neumático reciclado provisto por Indugarbi NFU's S.L., triturado, separado y cribado para producir partículas 1-4mm de tamaño, como sustituto de agregado fino.

La densidad relativa de la miga de caucho es 1,150kg/m³.

³⁴ Cemex México, 2018

- Superplastificante:

Se utilizó un Superplastificante en la mezcla (RheoFIT 786) de marca BASF Construction Chemicals España, S.L. disuelto en agua y añadido a las mezclas de mortero, éste reduce la cantidad de agua que se tiene que añadir a la mezcla, mejora la hidratación y la trabajabilidad de la misma.

- Agua potable:

Agua de tomar ordinaria sin modificación alguna (pH 7.9 y contenido de sulfato 590ppm) a 22 °C para las mezclas en laboratorio y en planta.

- Desmoldante:

Desmoldante *Renocast DES20L* de Fuchs Lubricantes S.A.U. en las superficies interiores de los moldes para facilitar el retiro de esta después del colado.

Las mezclas fueron realizadas sustituyendo el agregado fino en un rango de 0 a 40% en intervalos de 5% conforme a la Tabla 14 la clasificación *LS* es para muestras elaboradas en laboratorio, mientras que la clasificación *FB* es para muestras elaboradas en la planta bloquera.

| Clave | Relación Agua/Cemento | Caucho (%) | Agregado Fino (kg) | Caucho (Kg) | Cemento (kg) | Super Plastificante (ml) | Agua (l) |
|----------|-----------------------|------------|--------------------|-------------|--------------|--------------------------|----------|
| LS-70.0 | 0.7 | 0 | 8 | 0 | 1.14 | 5.7 | 0.8 |
| LS-70.10 | 0.7 | 10 | 7.2 | 0.23 | 1.14 | 5.7 | 0.8 |
| LS-70.15 | 0.7 | 15 | 6.8 | 0.34 | 1.14 | 5.7 | 0.8 |
| LS-70.20 | 0.7 | 20 | 6.4 | 0.46 | 1.14 | 5.7 | 0.8 |
| LS-70.25 | 0.7 | 25 | 6 | 0.58 | 1.14 | 5.7 | 0.8 |
| LS-70.30 | 0.7 | 30 | 5.6 | 0.69 | 1.14 | 5.7 | 0.8 |
| LS-70.35 | 0.7 | 35 | 5.2 | 0.81 | 1.14 | 5.7 | 0.8 |
| LS-70.40 | 0.7 | 40 | 4.8 | 0.93 | 1.14 | 5.7 | 0.8 |
| LS-80.0 | 0.8 | 0 | 8 | 0 | 1 | 5.0 | 0.8 |
| LS-80.10 | 0.8 | 10 | 7.2 | 0.23 | 1 | 5.0 | 0.8 |
| LS-80.15 | 0.8 | 15 | 6.8 | 0.34 | 1 | 5.0 | 0.8 |
| LS-80.20 | 0.8 | 20 | 6.4 | 0.46 | 1 | 5.0 | 0.8 |
| LS-80.25 | 0.8 | 25 | 6 | 0.58 | 1 | 5.0 | 0.8 |
| LS-80.30 | 0.8 | 30 | 5.6 | 0.69 | 1 | 5.0 | 0.8 |
| LS-80.35 | 0.8 | 35 | 5.2 | 0.81 | 1 | 5.0 | 0.8 |
| LS-80.40 | 0.8 | 40 | 4.8 | 0.93 | 1 | 5.0 | 0.8 |
| FB-90.0 | 0.9 | 0 | 8 | 0 | 0.88 | 4.4 | 0.8 |
| FB-90.10 | 0.9 | 10 | 7.2 | 0.23 | 0.88 | 4.4 | 0.8 |
| LS-90.15 | 0.9 | 15 | 6.8 | 0.34 | 0.88 | 4.4 | 0.8 |
| FB-90.20 | 0.9 | 20 | 6.4 | 0.46 | 0.88 | 4.4 | 0.8 |
| FB-90.25 | 0.9 | 25 | 6 | 0.58 | 0.88 | 4.4 | 0.8 |
| FB-90.30 | 0.9 | 30 | 5.6 | 0.69 | 0.88 | 4.4 | 0.8 |
| LS-90.35 | 0.9 | 35 | 5.2 | 0.81 | 0.88 | 4.4 | 0.8 |
| LS-90.40 | 0.9 | 40 | 4.8 | 0.93 | 0.88 | 4.4 | 0.8 |

Tabla 15: Dosificaciones experimentales en block. Fuente: E. Sodupe-Ortega et al. (2016)

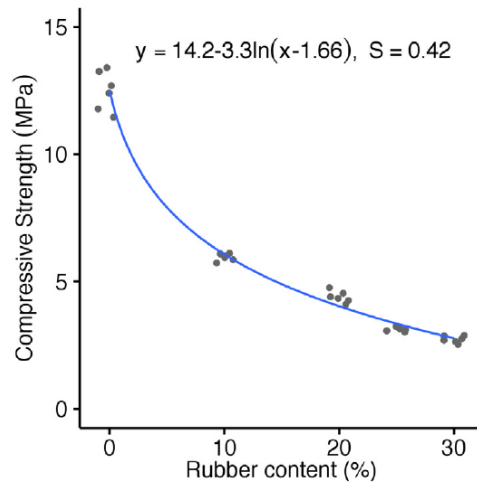
En la fase de experimentación se elaboraron 84 blocks y 630 ladrillos entre los especímenes de laboratorio y las unidades hechas en la fábrica. Estas muestras fueron probadas en periodos entre 7 y 28 días y mostraron las curvas de deformación a compresión mostradas en la gráfica 6

En el caso de los blocks (que son más parecidos a las bovedillas en México) tuvieron un mayor porcentaje de unidades rechazadas por defectos físicos o por malformaciones (entre 46.4% y 63.4% con 10 y 20 por ciento de inclusión de caucho, respectivamente). Se concluye

que la geometría del block, de amplios vacíos y la relación de la altura de sus paredes contra el espesor, es un factor fundamental para la estabilidad de la mezcla en el momento de ser descimbrada.

En esta investigación, el ladrillo tuvo una mayor producción que el block, por la facilidad comercial que representa, y tuvo resultados más favorables en comparativa con el block.

En las imágenes 19 b y c se observan los blocks y ladrillos experimentales en la línea de producción de la fábrica. Así mismo se produjeron ciertos especímenes en laboratorio bajo parámetros más estrictos de control, pero la



Gráfica 4: Resistencia a compresión.
Fuente: E. Sodupe-Ortega et al. (2016)

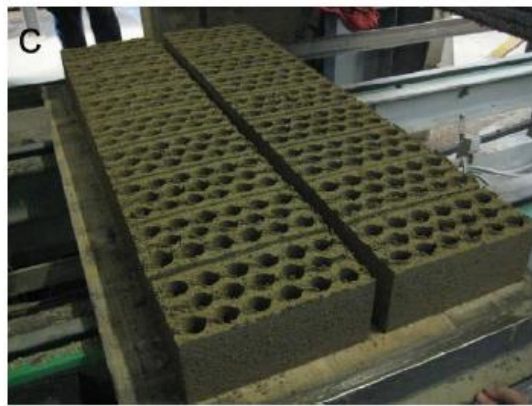


Imagen 19 b y c: Blocks y ladrillos con caucho generados en fábrica para investigación.
Fuente: E. Sodupe-Ortega et al (2016)

mayor parte de los blocks se realizaron en las condiciones reales en las que se fabrican los ejemplares comerciales para conocer con cuanta exactitud pueden modularse los agregados y conocer sus probables características físicas y mecánicas.

Las conclusiones más importantes a las que se llegó con esta investigación, para efectos del presente trabajo, fueron las siguientes:

- a) Entre más caucho reciclado se encuentre presente en la mezcla, el resultado es un decremento en la resistencia a la compresión; hay un rango de notable variación negativa de la resistencia entre 10% y 20% de caucho. El autor considera que puede ser debido a una relación excesiva de agua/cemento, una mala compactación o incluso la geometría particular de los ejemplares.
- b) Aunque el experimento sugiere que es factible producir ladrillos con caucho en un procedimiento similar al de los ladrillos convencionales, con los mismos medios y formas, la mezcla no debe contener más del 20% de caucho para una relación agua/cemento de 0.9 ya que se encontraron deformaciones excesivas. Se deberán probar mezclas con distintas relaciones a/c.
- c) El límite de caucho en mezcla para las bovedillas es del 10% para una relación de a/c de 0.9 debido a la inestabilidad y colapsos en los ejemplares que genera su geometría al momento de ser desmoldado.
- d) En España, el costo del caucho reciclado en comparación con el agregado fino es 30 veces mayor, por lo que la factibilidad de realizarse de manera comercial depende totalmente del costo del caucho. La posibilidad de llegarse a realizar a nivel comercial dependerá de posibles subsidios o apoyos por parte del gobierno para poder ser un producto económicamente atractivo.

III.5 Estudio de los efectos de tratamientos superficiales en migas de caucho reciclado y su unión con concreto aligerado

A finales del 2017 *Kashani, A. et. al.* Realizaron una investigación tendiente a verificar diferentes tratamientos que se pueden efectuar con el caucho (reciclado) para mejorar su adherencia con el concreto.

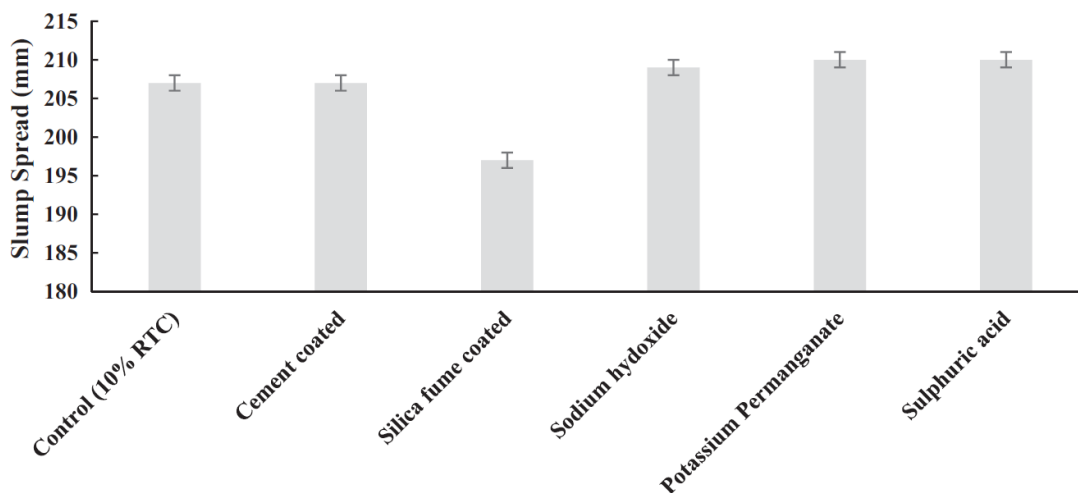
Partiendo desde el punto que el caucho es un material hidrofóbico y esta condición provoca una adhesión pobre con el concreto, se hicieron pruebas de 5 tipos de tratamientos en los cuales se ganó una mejora de resistencia desde el 27% al 56%. Los tratamientos fueron los siguientes:

- 1) Revestimiento de cemento
- 2) Revestimiento con humo de sílice
- 3) Permanganato de potasio (KMnO₄)
- 4) Hidróxido de sodio (NaOH)
- 5) Ácido sulfúrico (H₂SO₄)

Las pruebas realizadas a los ejemplares con los distintos tratamientos fueron: trabajabilidad, ángulo de contacto, prueba de compresión y análisis con microscopía electrónica de barrido, para efectos de la presente investigación se tomarán en cuenta sólo algunos de estos parámetros.

Trabajabilidad

En esta prueba se realizó con un mini – cono de revenimiento y la mayoría de los ejemplares mostraron un cambio mínimo o nulo en el revenimiento, salvo la muestra tratada con humo de sílice. Este efecto es atribuido a que el caucho con dicho tratamiento tiene probablemente una mayor absorción de agua. La muestra de control fue elaborada con el 10% de agregado de caucho reciclado sin ningún tipo de tratamiento adicional.



Gráfica 5: Prueba de trabajabilidad de concreto con caucho y sus distintos tratamientos.
Fuente: A. Kashani et al. (2018)

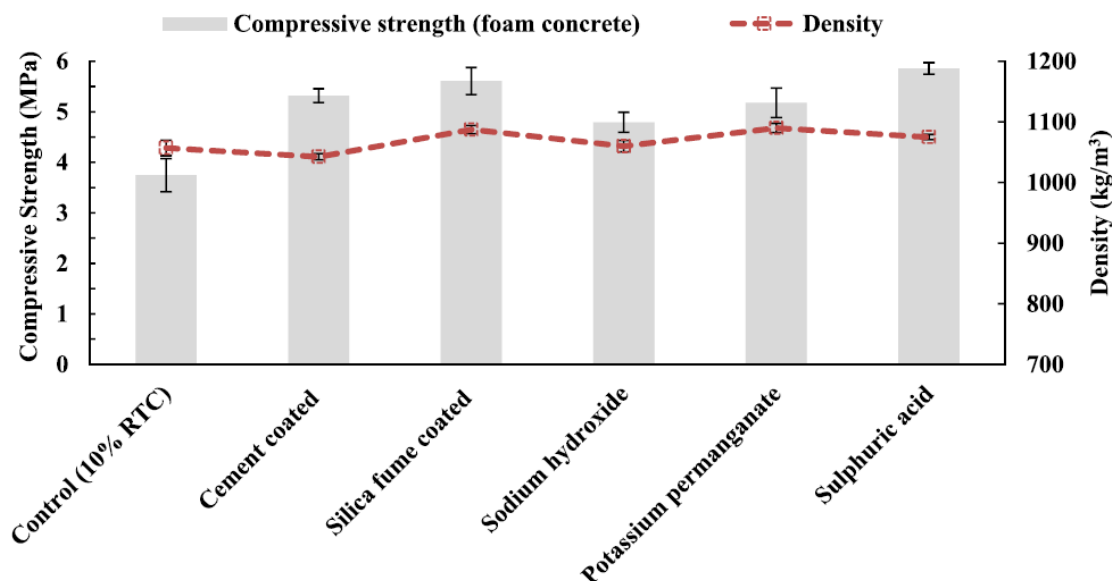
La diferencia entre la mayor trabajabilidad del revestimiento con cemento en comparación al revestimiento con humo de sílice es posiblemente porque la capa de cemento que rodea al caucho ya se hidrató y absorbió una gran parte de agua, contrariamente al caucho con humo de sílice, el cual no ha sido *pre hidratado* y por las reacciones químicas con el cemento absorbe agua y torna la mezcla menos trabajable.

Resistencia a la compresión

En las distintas investigaciones que han incluido al caucho como una sustitución de agregado en la mezcla de mortero o concreto se ha observado una disminución muy variable de la resistencia a la compresión. Esto se debe a que la adhesión entre el cemento y el caucho de reciclaje es pobre, resultando en formación de fisuras y propagación de la zona interfacial entre el caucho y el cemento.³⁵

En la experimentación se mostró un incremento en la resistencia a la compresión con respecto a la muestra de referencia, el caucho con revestimiento de concreto mostró un incremento de 42% mientras que con humo de sílice resultó un incremento de 49%. En la gráfica 8 se muestran los resultados de los distintos tratamientos, su resistencia a la compresión y su densidad.

Es importante resaltar que no necesariamente por tener una menor densidad, en concreto va a manifestar una reducción en su resistencia, los distintos tratamientos que se le pueden efectuar a un agregado como el caucho varían significativamente la resistencia sin aumentar proporcionalmente su densidad.



Gráfica 6: Prueba de resistencia a la compresión y los distintos tratamientos del caucho.
Fuente: A. Kashani et al (2018)

³⁵ A.Kashani et.al. (2018)

III.6 ¿Qué determina la relación entre materiales para formar un nuevo compuesto?

Casi todos los materiales que tenemos a nuestro alcance han sido modificados de alguna manera para cumplir con características físicas, mecánicas o químicas específicas que se requieren de ellos, salvo algunos casos en donde los elementos naturales cumplen con las propiedades que se requieren para su uso. Las modificaciones pueden incluir aleaciones, mezclas químicas, físicas, compuestos nanoestructurados, etc. La ingeniería de materiales se encarga de la prueba y elección de estos compuestos para investigar la relación entre ellos y la mejora de las propiedades que puede implicar su mezcla.

Algunos materiales fabricados por el hombre pueden llegar a generar una huella ecológica muy grande, siendo esto por la relación entre la vida útil en términos de tiempo, y el tiempo de degradación o descomposición en el medio ambiente, tal es el caso de los Polímeros.

III.7 Resumen de estudios con caucho como agregado en el concreto

Concreto con llanta reciclada

Existen múltiples estudios que han experimentado la mezcla del cemento con una sustitución parcial del agregado fino por miga de neumático de desecho, obteniendo una variedad de resultados dependiendo de las pruebas de laboratorio a los que han sido sometidas las muestras;



*Imagen 20: Caucho molido y triturado.
Fuente: Bo, Guangyu (2012)*

III.7.1 Reseña de comportamiento del concreto con agregado de caucho reciclado (tomado de varios experimentos y artículos):

Propiedades a compresión

La pasta de cemento con el agregado se vuelve más suave que el concreto sin caucho, lo que provoca el desarrollo de fisuras alrededor de las partículas de caucho, induciendo a la falla prematura de la muestra bajo las pruebas de resistencia a la compresión. Otro efecto es la flotación de las partículas de caucho al momento del vibrado por su baja densidad comparada con el resto

de los componentes en la mezcla, creando una concentración mayor de caucho en la parte superior de la muestra, des homogeneizando la misma, resultando en un bajo desempeño en resistencia.

De acuerdo con *Gesoglu et. al (2014)* La resistencia del concreto es indirectamente proporcional al contenido de caucho, y después de diversos experimentos con distinto porcentaje de agregado se concluye que el máximo que no debe sobrepasar el 20% si no se quiere experimentar una reducción significativa de resistencia.

Los mismos investigadores calcularon una reducción del 10 - 23% de resistencia a la compresión cuando se sustituyó caucho por los agregados, y un 20 - 40% cuando se sustituyó por matriz de cemento por caucho.

Por su parte *Dong Et. Al. (2013)* investigaron la adición de un agente externo al caucho para incrementar su adherencia con el concreto, en este caso se usó *Silano* y se demostró un incremento significativo en la unión química entre el caucho y el cemento, dando como resultado un incremento en la resistencia a compresión de las muestras. Otro agente para mejorar la unión entre dichos elementos que ha sido probado con éxito es el *Humo de Sílice (Onuaguluchi O y Panesar DK., 2014)* y por su parte *Youssf Et. Al. (2014)* afirman que si el caucho de reemplazo por agregados minerales no supera en 3.5% no hay ninguna reducción de resistencia significativa.

Resistencia a la flexión

En lo que respecta a la resistencia por flexión, podemos dividir en tres partes la sustitución de elementos en la mezcla por caucho:

- 1) Agregados Gruesos
- 2) Agregados Finos
- 3) Cemento (Matriz Aglutinante)

Se ha obtenido entonces que las reducciones en resistencia a *flexión* son las siguientes:

| Elemento Reemplazado | Reducción en resistencia |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Agregado Fino (20%) ³⁶ | 12.8% |
| Agregado Grueso ³⁷ | 37% |
| Cemento ⁸ | 29% |

*Tabla 16: Reducción en resistencia a flexión.
Fuente: Ariello et. al. (2010)*

³⁶ Su et. al. (2014)

³⁷ Ganjian et. al. (2009)

Adicional a estas pruebas, *Ariello et. al. (2010)* también encontraron que la reducción en resistencia a la flexión es propia de la sustitución del agregado grueso. Por su parte *Elchalakani (2015)* afirma que la adición de humo de sílice al caucho previo a la mezcla en el concreto y la reducción de la proporción agua-cemento, como en las pruebas a compresión, también incrementan la resistencia a la flexión de las muestras.

Resistencia a la Abrasión

La resistencia a la abrasión en el concreto se define como la habilidad de resistir el desgaste por fricción.

En la experimentación, *Gesoglu et al. (2014)* concluyeron que la mezcla de agregado fino de caucho (pasando el tamiz de 1mm) es benéfica para la resistencia a la abrasión, reduciendo el desgaste de 0.91% a 0.17% cuando se agrega el caucho de 0 al 20%. Por otro lado la adición del humo de sílice además de mejorar la resistencia a la compresión, también mejora la resistencia a la abrasión (*Zhang & Li, 2012*)

Aislamiento térmico y acústico

Al incrementar el caucho en las muestras de concreto y someterlo a prueba de calor (mayor a 530°C los agregados poliméricos comienzan a cambiar sus propiedades químicas y posteriormente a desintegrarse, provocando huecos en el concreto, con consecuencias de fisuras y reducción de resistencia a la compresión. (*Topçu et. al. 2009*). También se probó el caucho con humo de sílice y ceniza voladora como reemplazo al contenido de cemento resulta una disminución en la conductividad térmica de la muestra. (*Mohammed et. al. 2012*).

Acústicamente, el concreto con caucho tiene una mayor absorción al sonido (ondas sonoras emitidas hacia un material y que no son reflejadas). La absorción de sonido aumenta conforme se incrementa el contenido de caucho, así mismo el humo de sílice también ayuda al incremento de la absorción acústica, se estudió el concreto con sustitución de agregado fino (2-6mm y 10-19mm) al 15% demostrando el mejor coeficiente de absorción en cualquier temperatura ambiente (baja, normal y alta). (*Holmes et. al. 2014*).

III.6 Conclusiones de estudios previos

Las previas investigaciones son las más cercanas a la línea que lleva el presente trabajo, por lo que es una importante base para conocer los parámetros con los que se han llevado a cabo experimentos similares para no repetir posibles errores o para complementar la misma línea de investigación con parámetros locales. En este caso es importante esclarecer los límites mínimos y máximos de porcentaje de agregado de caucho en la mezcla, los

cuales son del 10% al 20% con un factor de agua/cemento de 0.9. Dicho factor puede modificarse para buscar un posible aumento de resistencia en la mezcla sin sacrificar resistencia a la compresión y lograr mayores efectos térmicos y acústicos en el Neublock. La ventaja que se tiene en México, de inicio, es que se puede llegar a experimentar con un cambio de mezclas radical en comparación a la investigación de E. Sodupe sin perder la factibilidad económica por el hecho de que el costo del caucho de reciclaje es menor que en España, lo cual abre una importante puerta para una mayor flexibilidad en mezclas sin perder el objetivo de lograr un producto comercialmente factible. Otro de los puntos importantes de la investigación de E.Sodupe son los materiales que se utilizaron para sus experimentos, dentro de los cuales se encuentra un aditivo superfluidificante que será valorado para verificar la factibilidad y economía para usarlo en la mezcla del Neublock ya que no está considerado en la mezcla original ningún tipo de aditivo.

Por otra parte, es importante mencionar que, con base en el estado del arte, se ha demostrado que la mezcla de la matriz cerámica con este agregado polimérico es posible, pero no sin disminuir las capacidades de compresión del elemento. Una forma de evitar una disminución en estas propiedades mecánicas es a través del tratamiento al caucho previo a la realización de la mezcla, con humo de sílice o con ácido sulfúrico³⁸ pero estos tratamientos implican un proceso adicional y añadir un material químico potencialmente peligroso, por lo que se decide utilizar un agregado de caucho producto de la primera trituración de la llanta el cual tiene fibras textiles y fibras metálicas que potencialmente pueden formar una unión más fuerte con la matriz de cemento para lograr una resistencia mecánica mayor sin necesidad de incluir químicos adicionales.

IV Desarrollo

IV.1 Metodología

La información que se va a generar para el desarrollo de la investigación es de tipo cuantitativa, por medio del diseño y fabricación de una serie de muestras a partir de la investigación previa del estado del arte y el apoyo de expertos en el tema de materiales avanzados, para realizar un diseño pertinente de las muestras, en laboratorio y en planta para posteriormente poder realizar las pruebas físicas y mecánicas en distintos laboratorios con equipos especializados y normados para dicho fin. Posteriormente, con los

³⁸ A.Kashani et.al. (2018)

datos obtenidos de conductividad térmica se elaborará un modelo digital teórico en el programa Design Builder para ser evaluado en el programa Energy Plus y realizar una evaluación comparativa entre ganancias térmicas al interior de una construcción, entre el block de concreto convencional y el Neublock.

IV.2 Procedimiento experimental

IV.2.1 Elaboración de Neublock

Agregados:

Caucho

Uno de los tipos de caucho de reciclaje que se puede obtener en el Valle de México es con la empresa *ReciclaTyre*, ubicada en Toluca, Estado de México, dicha empresa tiene únicamente dos productos de trituración de caucho, los cuales son: triturado entre 2-4mm y polvo de caucho con fibras textiles.

El segundo tipo de agregado de caucho llamado *mulch* es obtenido con el apoyo de una empresa de reciclaje de llantas llamada *Ecormx* ubicada en Tarímbaro, Michoacán, la cual accedió a recuperar el producto de la primera trituración de la llanta (producto no comercial actualmente) para así poder realizar los primeros experimentos de diseño de mezcla con el caucho incluyendo sus las fibras metálicas y textiles que contiene la llanta en su origen.

Arena

La arena por utilizar es arena de banco procedente de Tenango del Valle, Estado de México por su cercanía con la planta bloquera en donde se elaborarán las muestras de block.

Cemento

El cemento por utilizar es cemento portland compuesto (CPC) comercial, marca Moctezuma, con una especificación 30 R RS (Resistente a sulfatos) en su presentación de saco de 50kg para lograr las dosificaciones iniciales en la menor escala que requieren los cilindros de 15x30cm.

IV.3. Diseño de mezcla empírico

Se realizó una investigación en campo para averiguar los distintos diseños de mezcla que utilizan las fábricas de block en México. Se encontró que dependiendo de la región la mezcla varía en la inclusión de un agregado fino adicional a la arena. Por ejemplo, en el estado de Guerrero se utiliza un

material denominado *cenicilla*, así como en la zona conurbada de la Ciudad de México se utiliza *tepojal* para agregar volumen y reducir así el uso de cemento, no sin reducir las capacidades mecánicas del block, como la resistencia a compresión, e incumpliendo con las normas mexicanas³⁹.

La dosificación encontrada en tres plantas bloqueras distintas es la siguiente:

| | Agua (l) | Cemento (kg) | Arena (kg) |
|-----------------|----------|--------------|------------|
| B1 | 19% | 9% | 73% |
| B2 | 15% | 11% | 75% |
| B3 | 17% | 11% | 70% |
| Promedio | 17% | 10% | 72% |

Tabla 17: Diseño de mezcla en plantas bloqueras. Web (2009)

Se puede observar que en estos diseños de mezcla el promedio de relación agua-cemento es de 1.7 lo que sobrepasa en gran medida la relación óptima para un mortero o concreto (0.4-0.9).

Con la aportación de los doctores F. González y A. Tahuitón se realizó un diseño de mezcla definiendo que el comportamiento principal del material es la trabajabilidad, que para el caso de los blocks por el tipo de elaboración debe tener un revenimiento cercano a 0cm ya que la mezcla se encuentra en el molde menos de 30 segundos mientras ocurre el proceso de vibración y compactación, para ser retirado posteriormente. Por esta razón la mezcla debe mantener la misma forma del molde sin ningún tipo de deformación.

Con esta información, así como la granulometría y contenido de humedad de la arena se realizaron pruebas de mezcla para simular la trabajabilidad y estabilidad de esta en una escala menor.



Imagen 21: Diseño de mezcla con relación A/C 0.45

³⁹ R. Ortega et. Al (2008)



Imagen 23: Diseño de mezcla con relación A/C 0.45



Imagen 22: Diseño de mezcla con relación A/C 0.60

| Relación A/C | Cemento (vol) | Arena (vol) | Caucho (vol) |
|--------------|---------------|-------------|--------------|
| 0.6 | 1 | 4 | 7.5 |

Tabla 18: Diseño de mezcla inicial para Neublock

Se definió como primer paso para la etapa experimental que se comprobará el diseño de mezcla en pruebas estandarizadas de concreto con cilindros de 15x30 (norma ASTM-C39) para corroborar que la mezcla colada y curada esté dentro del rango o sobrepase el mínimo de resistencia a la compresión requerido por la NMX-C-441-ONNCCE-2013 para piezas de uso no estructural, que es de 2.8MPa o 28kg/cm²



Imagen 24: Cilindros elaborados con el primer diseño de mezcla

Con este diseño de mezcla se procedió a elaborar una serie de muestras en condiciones reales en una planta de blocks comercial, ubicada en Tenango del Valle, Estado de México



Imagen 25 A-E: Primeras pruebas en planta bloquera

IV.4 Diseño de mezcla por mínimos vacíos

Por medio de un esfuerzo conjunto en colaboración con el Dr. Francisco González de la Universidad Autónoma de México, campus Azcapotzalco, se definió un segundo método para el diseño de mezcla por medio del método de mínimos vacíos, a la par de la utilización de un programa de cálculo diseñado por el mismo Dr. González en donde se calculan las proporciones de los materiales a emplear dependiendo primero de las propiedades físicas específicas de cada uno de los agregados (arena, cemento, caucho).

La arena se obtuvo de un banco de materiales ubicado en Tenango del Valle, Estado de México.

Se obtuvo la arena con el productor local y se trasladó cuidadosamente al laboratorio de materiales de la UAM Azcapotzalco para realizar las pruebas físicas correspondientes, las cuales fueron:

- Granulometría
- Peso específico saturado superficie seca
- Peso volumétrico compacto
- Peso volumétrico suelto
- Absorción



Imagen 26: Prueba de Granulometría a arena de mina en el Laboratorio de Materiales, UAM Azcapotzalco



Imagen 27: Pruebas físicas realizadas a la arena de mina en el Laboratorio de Materiales, UAM Azcapotzalco



Universidad Autónoma Metropolitana
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco



ANALISIS GRANULOMETRICO

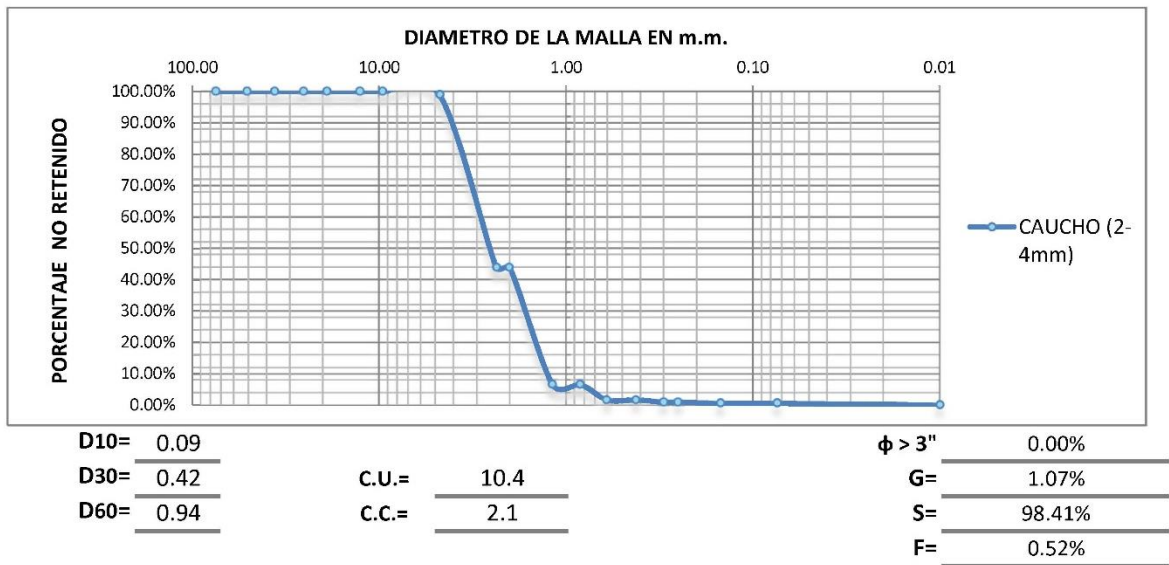


PROYECTO: NEUBLOCK FECHA: 06/11/2019
 MUESTRA: CAUCHO (2-4mm)

PESO DE LA MUESTRA 1680.60

| CLASIFICACION | CHAROLA | | No. TAMIZ | TARA+MUESTRA gramos | PESO RETENIDO DE LA MUESTRA gramos | PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO % | PORCENTAJE NO RETENIDO EN MALLA % |
|---------------------------------------|-----------|---------------|-----------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | Malla No. | Abertura m.m. | | | | | |
| CAUCHO | 3" | 75.00 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 2" | 50.80 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 1 1/2" | 36.10 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 1" | 25.40 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 3/4" | 19.05 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 1/2" | 12.70 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 3/8" | 9.52 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 4 | 4.75 | 4 | 1242.60 | 18.00 | 1.07% | 98.93% |
| | 8 | 2.36 | 8 | 6488.80 | 925.00 | 55.04% | 43.89% |
| | 10 | 2.000 | | | 0.00 | 0.00% | 43.89% |
| | 16 | 1.180 | 16 | 4149.80 | 628.00 | 37.37% | 6.52% |
| | 20 | 0.840 | | | 0.00 | 0.00% | 6.52% |
| | 30 | 0.600 | 30 | 923.40 | 82.40 | 4.90% | 1.62% |
| | 40 | 0.420 | | | 0.00 | 0.00% | 1.62% |
| | 50 | 0.300 | 50 | 770.70 | 11.70 | 0.70% | 0.92% |
| | 60 | 0.250 | | | 0.00 | 0.00% | 0.92% |
| 100 | 0.149 | 100 | 781.00 | 6.70 | 0.40% | 0.52% | |
| 200 | 0.074 | | | 0.00 | 0.00% | 0.52% | |
| FINOS | >200 | 0.010 | | 696.10 | 8.80 | 0.52% | 0.00% |
| PESO TOTAL DE LA MUESTRA DE ESTUDIO : | | | | | 1680.60 | 100% | |

Tabla 19: Granulometría de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (Elaboración propia, 2019)



Gráfica 7: Granulometría de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (Elaboración propia, 2019)

Se puede observar que el mayor porcentaje de material se encuentra entre 1 y 5mm de retención en malla. Cabe mencionar que el procedimiento de vibración de los tamices para esta prueba fue manual ya que, por las características físicas del caucho y su baja densidad no presenta el mismo tiempo de asentamiento como los materiales pétreos para los cuales está diseñada esta prueba.

Se realizó asimismo una caracterización granulométrica para la arena material específico con los siguientes resultados:

Se puede observar que el espectro granulométrico de la arena estudiada es más amplio que el del caucho, teniendo una mayor cantidad de finos por debajo de 1mm (49.53%) con respecto al caucho del cual resultó un 6.52% de retención en este mismo rango de tamices.

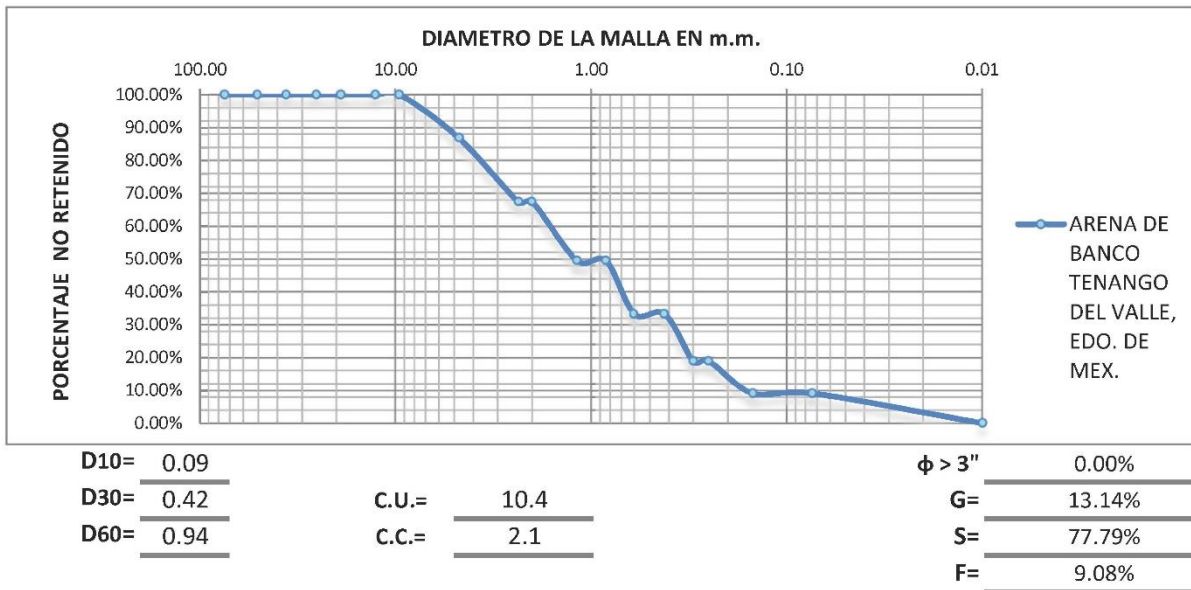
Otras pruebas realizadas a la arena de banco previas al diseño de mezcla fueron la obtención de peso específico, absorción, índice de masa suelta y masa compactada, con los siguientes resultados:



PROYECTO: NEUBLOCK FECHA: 06/11/2019
 MUESTRA: ARENA DE BANCO TENANGO DEL VALLE, EDO. DE MEX.

| CLASIFICACION | CHAROLA | | No. TAMIZ | TARA+MUESTRA gramos | PESO RETENIDO DE LA MUESTRA gramos | PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO % | PORCENTAJE NO RETENIDO EN MALLA % |
|---------------------------------------|-----------|---------------|-----------|------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | Malla No. | Abertura m.m. | | | | | |
| ARENA | 3" | 75.00 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 2" | 50.80 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 1 ½" | 36.10 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 1" | 25.40 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | ¾" | 19.05 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | ½" | 12.70 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 3/8" | 9.52 | | | 0.00 | 0.00% | 100.00% |
| | 4 | 4.75 | 4 | 1858.30 | 633.70 | 13.14% | 86.86% |
| | 8 | 2.36 | 8 | 1862.30 | 935.00 | 19.38% | 67.48% |
| | 10 | 2.000 | | | 0.00 | 0.00% | 67.48% |
| | 16 | 1.180 | 16 | 1724.30 | 866.20 | 17.95% | 49.53% |
| | 20 | 0.840 | | | 0.00 | 0.00% | 49.53% |
| | 30 | 0.600 | 30 | 1625.70 | 784.70 | 16.26% | 33.27% |
| | 40 | 0.420 | | | 0.00 | 0.00% | 33.27% |
| | 50 | 0.300 | 50 | 1451.70 | 692.70 | 14.36% | 18.91% |
| | 60 | 0.250 | | | 0.00 | 0.00% | 18.91% |
| 100 | 0.149 | 100 | 1248.50 | 474.20 | 9.83% | 9.08% | |
| 200 | 0.074 | | | 0.00 | 0.00% | 9.08% | |
| FINOS | >200 | 0.010 | | 1125.20 | 438.00 | 9.08% | 0.00% |
| PESO TOTAL DE LA MUESTRA DE ESTUDIO : | | | | | 4824.50 | 100% | |

Tabla 20: Granulometría de arena de banco Tenango del Valle (Elaboración propia, 2019)



Gráfica 8: Granulometría de arena de banco Tenango del Valle (Elaboración propia, 2019)



PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN



PROYECTO: NEUBLOCK

FECHA: 06/11/2019

MUESTRA: ARENA DE BANCO TENANGO DEL VALLE, EDO. DE MEX.

| PRUEBA | DATOS | | GRAVA | ARENA | UNIDADES |
|--|--|-------|-------|-------|------------|
| Peso específico saturado superficie seca | Peso del material en estado saturado superficie seca | Psss1 | | 0.500 | kg |
| | Volúmen de la muestra en estado saturado superficie seca (grava) | V1 | | ----- | ml (cm3) |
| | Volúmen de la muestra en estado saturado superficie seca (grava)=V1/1000 | V | | ----- | dm3 |
| | Volúmen inicial del frasco de Chapman (arena) | Vo | ----- | 200.0 | ml (cm3) |
| | Volúmen final del frasco de Champan (arena) | Vf | ----- | 407.0 | ml (cm3) |
| | Volúmen de la muestra en estado saturado superficie seca (arena)=Vf-Vo | V2 | ----- | 207.0 | ml (cm3) |
| | Volúmen de la muestra en estado saturado superficie seca (arena)=V2/1000 | V | ----- | 0.207 | dm3 |
| | Peso específico saturado superficie seca = Psss1/V | Pesss | | 2.415 | kg/dm3 |
| Absorción | Peso del material en estado saturado superficie seca | Psss2 | | 0.200 | kg |
| | Peso del material en estado seco | Ps | | 0.190 | kg |
| | Absorción = (Psss2-Ps)/Ps | A | | 0.053 | Decimales |
| | Grado de Absorción = A*100 | A% | | 5.32% | Porcentaje |
| Peso específico seco | Peso específico saturado superficie seca | Pesss | | 2.415 | kg/dm3 |
| | Absorción | A | | 0.053 | Decimales |
| | Peso específico seco = Pesss/(1+A) | Pes | | 2.293 | kg/dm3 |

Tabla 21: Peso específico y absorción arena de banco Tengango del Valle (Elaboración propia, 2019)



MASA SUELTA Y MASA COMPACTADA



PROYECTO: NEUBLOCK

FECHA: 06/11/2019

MUESTRA: ARENA DE BANCO TENANGO DEL VALLE, EDO. DE MEX.

TARA Olla (g) 2470.8

Vol. Olla (dm3) 2.79

Tara Vidrio (g) 756.3

| PRUEBA | # | MASA SUELTA+TARA (g) | MASA SUELTA NETA (g) | MASA COMPACTADA+TARA (g) | MASA COMPACTADA NETA (g) | MVs = Ms/Volla | MVc = Mc/Volla | Correccion %H MVs MVsin corregir / (1+H) | Correccion %H MVc MVsin corregir / (1+H) |
|----------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|---|---|
| MUESTREO MASA SUELTA | 1 | 5727.4 | 3256.6 | 6543.1 | 4072.3 | 1167.24 | 1459.61 | 121.92 | 152.46 |
| | 2 | 5776.5 | 3305.7 | 6469.5 | 3998.7 | 1184.84 | 1433.23 | 123.76 | 149.70 |
| | 3 | 5723.3 | 3252.5 | 6544.8 | 4074.0 | 1165.77 | 1460.22 | 121.76 | 152.52 |
| | 4 | 5780.0 | 3309.2 | 6374.5 | 3903.7 | 1186.09 | 1399.18 | 123.89 | 146.14 |
| | 5 | 5764.6 | 3293.8 | 64470.6 | 61999.8 | 1180.57 | 22222.15 | 123.31 | 2321.10 |
| | 6 | | | 6523.3 | 4052.5 | ----- | 1452.51 | | 151.71 |
| | 7 | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | |
| Humedad (%) | Peso inicial | | 609.10 | g | | | | | |
| | Peso seco | | 561.00 | g | | | | | |
| | H(%) = ((Pi - Pf) / Pf) * 100 | | 8.57 | % | | | | | |

Tabla 22: Masa suelta y masa compactada, arena de banco Tenango del Valle (Elaboración propia, 2019)

Con la obtención de las propiedades físicas de la arena y caucho se elaboró el diseño de mezcla con el programa del Dr. Francisco González, asimismo tomando las propiedades conocidas para el cemento, que en este caso es Cemento Portland Compuesto 30R de una marca comercial



DISEÑO DE MEZCLAS PARA MORTEROS

Muestra: *Cubica*



| Material | Pesss (kg/dm ³) | PVS (kg/m ³) | PVC (kg/m ³) | Abs (%) | Rel. (Ar/Cem) |
|------------------|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|---------------|
| Arena | 2.42 | 1177 | 1438 | 5.32 | 5.90 |
| Cemento Portland | 3.15 | 1510 | | | |
| Caucho | | 352 | | | |

Aire atrapado = 12 %
 Agua 1000 kg
 $P_{sv} = 1177$ kg
 $V_{ap,ar} = 513$ dm³
 $V_{aj} = 120$ dm³
 $V_{past} = 367$ dm³
 $V_{cem} = 105$ dm³
 $V_{ag} = 262$ dm³

| f'c (kg/cm ²) | (A/C)w | (A/C)v |
|---------------------------|--------|--------|
| 200 | 0.794 | 2.500 |



ASTM - C109

Nomenclatura

- Pesss** Peso Especifico Saturado Superficie Seca
- PVC** Peso Volumétrico Compacto
- PVS** Peso Volumétrico Suelto
- Abs** Absorción
- Vap** Volumen aparente
- Pss** Peso Saturado Superficie Seca
- Ps** Peso Seco
- Hum** Humedad
- Ph** Peso húmedo
- A/C** Rel. Agua/Cemento

| Dosificación sin corregir | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------|--------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| Material | Vap (dm ³) | Pesss (kg/dm ³) | Pss (kg) | Abs | Ps (kg) | PVS (kg/dm ³) | V _{abund} (dm ³) |
| Cemento | 105 | 3.15 | 330 | **** | 330 | 1.51 | 219 |
| Arena | 513 | 2.42 | 1240 | 0.0532 | 1177 | 1.18 | 1000 |
| Agua útil | 262 | 1 | 262 | **** | 262 | 1 | 262 |
| Agua sat. | 0 | 0 | 0 | | 63 | 1 | 63 |
| Aire atr. | 120 | 0 | 0 | **** | 0 | 0 | 120 |
| $\Sigma =$ | 1000 | | 1832 | | 1832 | | 1663 |

| Rel. (Ar/Cem) | Rel. ($V_{ar}/V_{ap,ar}$) | Rel. ($V_{cem}/V_{ap,cem}$) | Rel. ($V_{ap,ar}/V_{ap,cem}$) |
|---------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 4.58 | 1.95 | 2.09 | 6.32 |

Volumen de 1 cubo = 0.000125 m³
 Numero de cubos = 1 pzas
 Desperdicio = 30 %
 Volumen total = 0.0001625 m³

| Dosificación corregida | | | | | | | |
|------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------|--------|-------------|------|-------------|
| Material | Vap (dm ³) | Pesss (kg/dm ³) | Pss (kg) | Abs | Ps (kg) | Hum | Ph (kg) |
| Cemento | 90 | 3.15 | 282 | **** | 282 | **** | 282 |
| Arena | 453 | 2.42 | 1094 | 0.0532 | 1039 | 0.03 | 1070 |
| CAUCHO | 113 | 0.352 | 40 | **** | 40 | **** | 40 |
| Agua útil | 224 | 1 | 224 | **** | 224 | **** | 193 |
| Agua sat. | 0 | 0 | 0 | **** | 55 | **** | 55 |
| Aire atr. | 120 | 0 | 0 | **** | 0 | **** | 0 |
| $\Sigma =$ | 1000 | | 1640 | | 1640 | | 1640 |

| Mortero de prueba | | VOL |
|-------------------|---------|-----|
| Factor | P'h (g) | |
| 0.0001625 | 46 | 20% |
| | 174 | |
| | 6.46 | |
| | 31 | |
| | 9.0 | |
| | 0.0 | |

Tabla 23: Diseño de mezclas para mortero (F. González, 2019)

IV. 5 Diseño de mezcla previo al caucho

Basándose en el diseño de mezclas formal se inició la elaboración de las primeras probetas en el Laboratorio de Materiales de la UAM Azcapotzalco. Variando inicialmente la relación Arena-Cemento para lograr una mezcla lo suficientemente seca para que pueda ser trabajable en las condiciones de la bloquera (descimbrado inmediato) pero a la vez tenga una cantidad de cemento que logre la aglomeración entre los componentes de la mezcla.

Las primeras probetas de 50mm de lado se elaboraron con relaciones de Arena-Cemento de 5.5, 5.7, 5.9, 6.1, 6.4 y 6.7. siguiendo la normatividad ASTM C305 y ASTM C511. Con elaboración manual de la mezcla, vertido en

moldes y resguardo por 24 horas en cámara de fraguado al 100% de humedad y temperatura constante, para ser desmoldados y pesados posteriormente y ser transportados a una cámara de curado acelerado durante 7 días mediante el proceso B, agua tibia, de la norma ASTM C684. A 35°C de temperatura constante.



Imagen 28: Probetas con distintas relaciones Arena-Cemento



Imagen 29: Probetas en cámara de fraguado



Imagen 30: Probetas en cámara de curado acelerado

Se ensayaron las probetas en resistencia a compresión, según la norma ASTM C-349-18 para verificar si los diseños de mezcla dentro del rango de relación de Arena-Cemento fabricados mostraba una resistencia aceptable, y si había alguno con alguna resistencia sobresaliente para ser elegido el diseño de mezcla en el cual se incorporaría el caucho.

Se fabricaron y probaron en resistencia a compresión un total de 48 probetas, 6 por cada relación arena-cemento y 12 adicionales para una relación de 6.7 arena-cemento con un adicional controlado de agua. El resumen promediado de máximos y mínimos de resistencia se muestra en la tabla 22. La relación arena-cemento que mostró la mayor resistencia fue 6.1, con 436 kg/cm^2 mientras que la proporción que obtuvo la menor resistencia fue 6.7 + 25ml de agua, con 134 kg/cm^2 .



Imagen 31: Prueba de compresión en probetas

Durante la elaboración de las probetas se monitoreó la trabajabilidad de estas para poder tomar una decisión de la relación arena-cemento que se elegiría para incluir el caucho, y se determinó que la relación 5.9 tenía la mejor trabajabilidad mientras que las pruebas de resistencia mostraron el segundo lugar en resistencia máxima y el segundo lugar en resistencias mínimas obtenidas, por lo que se eligió dicho diseño de mezcla para adicionar el caucho.

| Rel. Ar/C | $f'_{c\text{ máx}}$ (kg/cm ²) | $f'_{c\text{ mín}}$ (kg/cm ²) | $\Delta f'c$ (kg/cm ²) | $\Delta f'c$ (%) |
|-------------|---|---|------------------------------------|------------------|
| 5.5 | 387 | 287 | 100 | 26 |
| 5.7 | 391 | 297 | 94 | 24 |
| 5.9 | 416 | 288 | 128 | 31 |
| 6.1 | 436 | 276 | 160 | 37 |
| 6.4 | 241 | 132 | 109 | 45 |
| 6.7 | 277 | 165 | 112 | 40 |
| 6.7+Ag. Sat | 309 | 230 | 79 | 26 |
| 6.7+25mL | 315 | 134 | 181 | 57 |

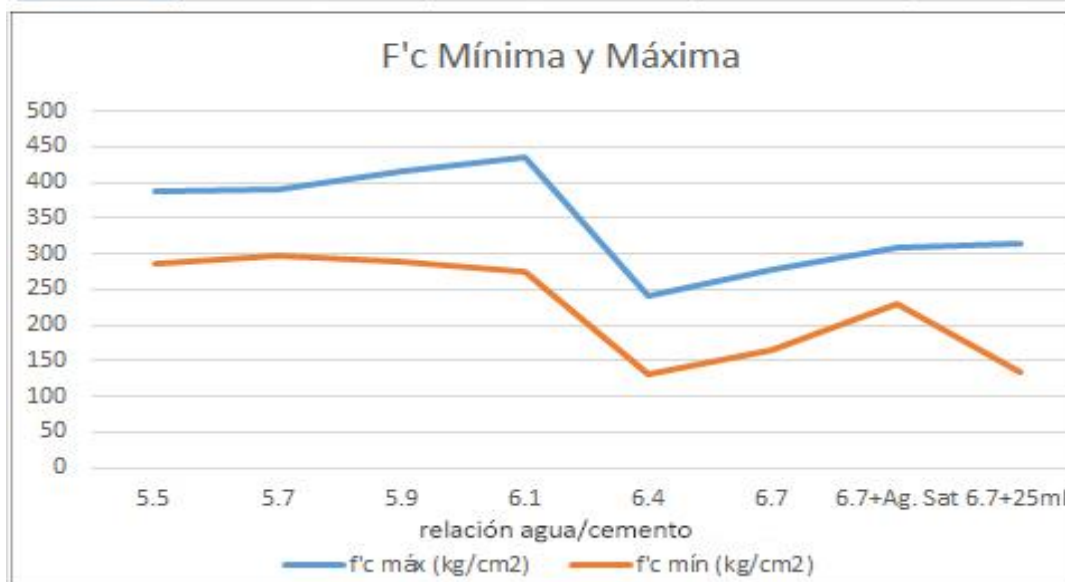


Tabla 24: Resumen de prueba de resistencia a compresión, probetas sin caucho

IV. 6 Diseño de mezcla con caucho

Con la elección del diseño de mezcla y relación arena-cemento previamente probados en laboratorio, se procedió a elaborar las probetas con distintos porcentajes de inclusión de caucho, desde un 0% hasta un 20% aumentando en 5% cada vez. La elección de los rangos de la inclusión de caucho se tomó de las investigaciones previas, en donde se ha concluido que el porcentaje máximo antes de que la curva de resistencia se reduzca hasta los límites permisibles es del 20%. En la tabla 23 se muestra uno de los diseños de mezcla, en este caso con el 10% de inclusión de caucho en sustitución de arena.

| Dosificación corregida | | | | | | | | Mortero de prueba | | VOL |
|------------------------|------------------------|--|------------------------|--------|------------------------|------|-------------|-------------------|---------|-----|
| Material | Vap (dm ³) | Pe _{ss} (kg/dm ³) | P _{ss} (kg) | Abs | Ps (kg) | Hum | Ph (kg) | Factor | P'h (g) | |
| Cemento | 90 | 3.15 | 282 | **** | 282 | **** | 282 | 0.0009750 | 275 | 10% |
| Arena | 509 | 2.42 | 1229 | 0.0532 | 1167 | 0.03 | 1202 | | 1172 | |
| CAUCHO | 57 | 0.352 | 20 | **** | 20 | **** | 20 | | 19.56 | |
| Agua útil | 224 | 1 | 224 | **** | 224 | **** | 189 | | 184 | |
| Agua sat. | 0 | 0 | 0 | **** | 62 | **** | 62 | | 60.5 | |
| Aire atr. | 120 | 0 | 0 | **** | | **** | 0 | | 0.0 | |
| $\Sigma =$ | 1000 | | $\Sigma =$ 1756 | | $\Sigma =$ 1756 | | 1756 | | | |

Tabla 25: Diseño de mezcla con 5.9 arena-cemento y 10% de caucho

Se elaboraron 6 probetas con cada diseño (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) con un total de 30 probetas para realizar las correspondientes pruebas de compresión, siguiendo la misma metodología que las probetas previas; ASTM C305, ASTM C511 y ASTM C684.



Imagen 32: Probetas con distintos porcentajes de caucho

Se probaron todas las probetas para verificar la afectación en la resistencia a compresión f'_c con los distintos porcentajes de caucho. Estas pruebas muestran una elasticidad del material posterior a la falla, en donde en la mayoría de los casos la probeta permanece con su misma forma, mostrando uniones entre sus partículas por medio del caucho.

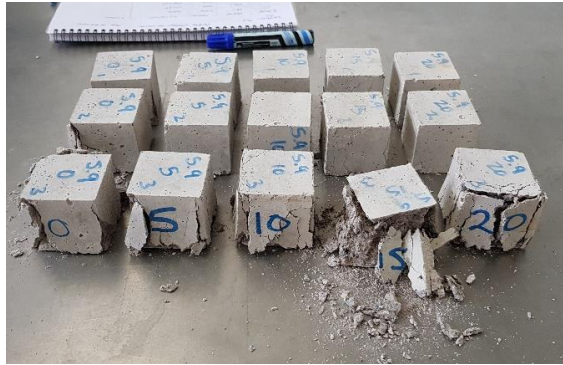


Imagen 33: Prueba de compresión en probetas con caucho

Con base en los resultados de la prueba de probetas con distintos porcentajes de caucho se decidió que la resistencia de la mezcla con 20% de caucho es suficiente para poder elaborar el block y mantener la resistencia para un block no estructural según la NMX-C-441-ONNCCE-2013.

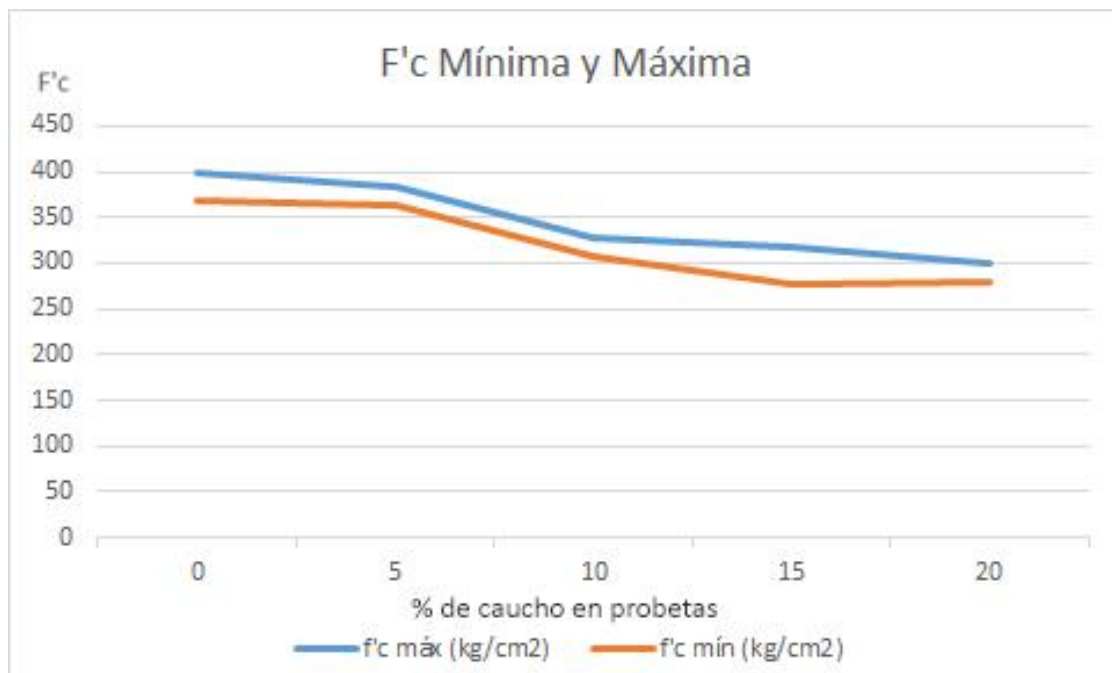


Tabla 4: Resumen de prueba de resistencia a compresión, probetas con caucho

IV. 7 Fabricación de blocks en planta

Se procedió a elaborar un lote de blocks directamente en la planta bloquera ubicada en Tenango del Valle, Estado de México, para poder experimentar el proceso de fabricación, así como verificar la manejabilidad del material en el momento de la elaboración industrial para poder lograr una mezcla homogénea previa al vertido en el molde, vibración y compactación, así como la consistencia del block recién fabricado y su estiba.

Se realizaron 4 tipos de mezcla distinta en la planta, tomando primero el diseño de mezcla elaborado y probado en laboratorio, para después variarlo con distintas mezclas similares a las que emplean en la planta para la elaboración de los blocks comerciales, así como una mezcla de referencia en la que no se emplea caucho. Los diseños de mezcla empleados se muestran en la tabla 27.

| Muestra | Arena (kg) | Cemento (kg) | Agua (l) | Caucho (kg) |
|---------|------------|--------------|----------|-------------|
| I | 178.8 | 13.59 | 10 | 6.68 |
| II | 111.8 | 13.59 | 10 | 20.04 |
| III | 178.8 | 10.18 | 10 | 6.68 |
| IV | 178.8 | 13.59 | 10 | 13.36 |
| Ref. | 178.8 | 13.59 | 10 | 0 |

Tabla 27: Dosificaciones de mezcla en planta bloquera



Imagen 34: Elaboración de Neublock en planta



Imagen 35: Elaboración de Neublock en planta

El proceso de fabricación del Neublock es similar al proceso de fabricación del block comercial, con pasos subsecuentes iniciando por el mezclado de los materiales: arena, cemento, caucho y agua, en ese orden. (1) Se vierten dentro de la tolva mezcladora, la cual se acciona sin detenerse hasta lograr una mezcla homogénea, este proceso idealmente debe tener una duración de al menos 2 minutos, aunque en las plantas comerciales por costumbre se le da un tiempo tan corto como 20 segundos. Posterior al mezclado y cuando la masa se considera homogénea (2) se procede a abrir la compuerta mecánica de la tolva mezcladora, sin apagar el motor de la mezcladora para que automáticamente vierta el material hacia la banda transportadora. Dependiendo de la capacidad de la tolva receptora (si esta es igual o más grande que la tolva mezcladora) se puede transportar todo el material mezclado en una sola exhibición para mantenerlo en la tolva receptora y que el mismo operador pueda verter el material dentro del molde.

El paso subsecuente es (3) abrir la compuerta de la tolva receptora hacia el molde hasta llenarlo con la mezcla. Posteriormente (4) se cierra la compuerta de la tolva receptora y se inicia el proceso de vibro compactación, el cual consta en dejar caer una placa con la forma y dimensiones interiores del molde y vibrar el material para compactarlo y que tome la forma del molde. Este proceso dura de 5 a 10 segundos, tiempo suficiente para la compactación.

En el último paso, (5) se apaga el motor de vibración, se levanta la placa compactadora (junto con el molde, de manera vertical) obteniendo los blocks listos para ser retirados sobre una base metálica o de madera (colocada previo a todo el proceso).



Imagen 36: Estiba de block

Por último, se procede a transportar la base con el block recién elaborado para su estiba y almacenaje.

La cantidad de blocks que se fabrican por cada ciclo depende de la capacidad de la planta bloquera y el tamaño de los moldes, que pueden variar entre 2 y 5 bloques por molde.

IV. 8 Pruebas de laboratorio

Instrumentos

La máquina que se utiliza para realizar las pruebas de compresión puede ser de tipo a compresión o universal, con capacidad suficiente y que deba funcionar a una velocidad de aplicación de la carga especificada uniforme y continua sin producir impacto ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de 0.137Mpa/s a 0.343 MPa/s (84kg/cm²/min a 210kg/cm²/min). Dicha máquina debe estar equipada con dos bloques sólidos de acero o similar, para la aplicación de la carga, con superficie de contacto endurecida con una dureza mínima rockwell de C-55 o Brinnell N620. Uno de los bloques debe tener asiento semiesférico y apoyarse en la parte superior del espécimen y el otro bloque rígido sobre el cual descansa el mismo. El apoyo inferior puede ser una platina, si esta es fácilmente desmontable y susceptible de maquinarse o, un bloque adicional que puede o no estar fijo a la platina.

El bloque superior de carga con asiento esférico debe cumplir con los siguientes requisitos:

Diámetro máximo no debe exceder 250mm. Dichos bloques de apoyo con asiento esférico pueden tener caras cuadradas, siempre y cuando el diámetro del mayor círculo inscrito no exceda de 250mm, sin embargo, se aceptan máquinas con placas de carga superior de dimensiones mayores siempre que garanticen el correcto acoplamiento a la base superior del espécimen por ensayar, mediante la verificación de la planicidad de la superficie de la placa.

El centro de la esfera debe coincidir con el centro de la superficie de la cara de apoyo con una tolerancia de $\pm 5\%$ del radio de la esfera. El diámetro de la esfera debe ser cuando menos de 100mm.

Con respecto a las superficies de las placas de carga, éstas no deben diferir de un plano en más de 0.025mm en una longitud de 150mm. El centro de la esfera de la placa superior de la máquina debe coincidir con el centro de su carga. Si se usa placa de carga el centro de las esferas debe coincidir con una línea que pasa verticalmente en el centroide de la carga de la probeta. La carga con asiento semiesférico debe mantenerse fija en su sitio, pero debe girar libremente en cualquier dirección. La dimensión mínima de la placa de carga de la máquina es de 160mm.⁴⁰

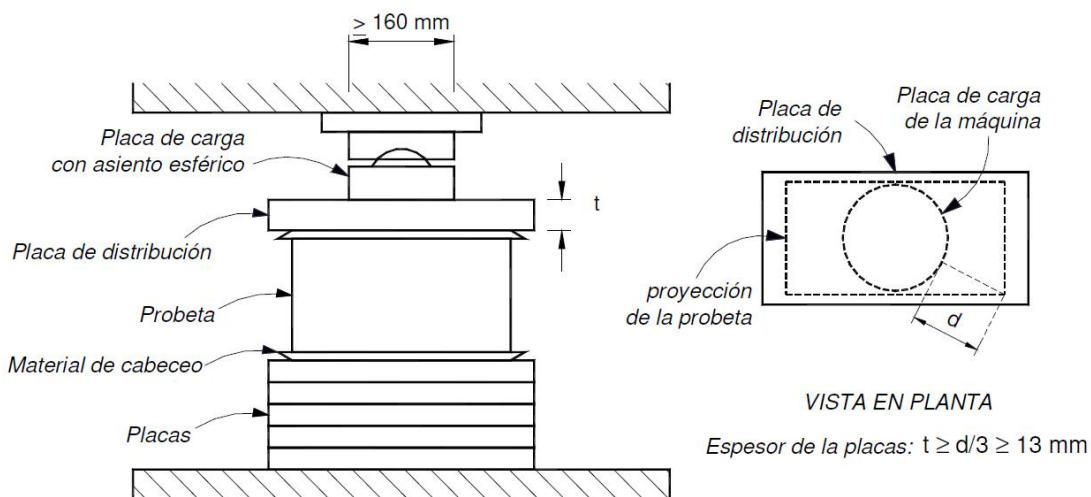


Imagen 37: Placas de distribución de carga en ensayo a compresión según la NMX-C-036-ONNCCE-2012

La maquinaria descrita previamente debe estar acoplada a un sistema de dispositivos de lectura de carga, con las siguientes características:

Si es una carátula, esta debe estar provista de una escala graduada que se pueda leer por lo menos con una aproximación de 2.5% de la carga aplicada.

⁴⁰ NMX-C-036-ONNCCE-2013

Es recomendable mantener la uniformidad de la graduación en la escala de toda la carátula.

Debe estar provista de una línea de referencia en cero y una graduación que inicie en forma progresiva, cuando menos en el 10% de su capacidad.

Debe contar una aguja indicadora, la cual debe tener la longitud suficiente para coincidir con las marcas de graduación y el ancho de su extremo no debe ser mayor que el claro libre entre dos divisiones mínimas.⁴¹

Cada carátula debe estar equipada con una aguja de arrastre de la misma longitud que la aguja indicadora y un mecanismo para ajustar a la referencia en cero en caso de desviación.

La separación mínima, entre dos graduaciones no debe ser menor a 1mm para realizar una lectura adecuada.

Las máquinas con sistema digital deben estar equipadas con un dispositivo que registre la carga máxima aplicada.

Verificación de carga

La verificación de la precisión de la máquina de ensayo debe realizarse bajo las condiciones siguientes:

- El error permitido en la máquina, para la realización del ensayo a compresión, debe ser como máximo de $\pm 3\%$ de la carga aplicada.
- La máquina debe calibrarse inicialmente antes de ser puesta en operación y posteriormente en forma interna cada 2,000 ensayos, lo cual puede ampliarse a 12,000 si no se detectan desviaciones. Estas máquinas deben calibrarse por un laboratorio acreditado por la entidad de acreditación u organismo acreditador autorizado, en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, cada año como máximo o cada 40,000 ensayos. Además, debe realizarse esta operación inmediatamente después de que se efectúen reparaciones o ajustes en los mecanismos de medición, cada vez que se cambie de sitio la máquina o por si alguna razón se duda de la exactitud de los resultados, sin importar cuando se efectuó la última calibración.

⁴¹ NMX-C-036-ONNCCE-2013

Placa cabeceadora

Metálica de 1.85cm de espesor, con dos fronteras fijas y dos desmontables. Lo más recomendable es fabricar escuadras a partir de un cuadrado de 1.2cm x 1.2cm para formar las fronteras con las características necesarias, una escuadra para cada tamaño de tabique o bloque.

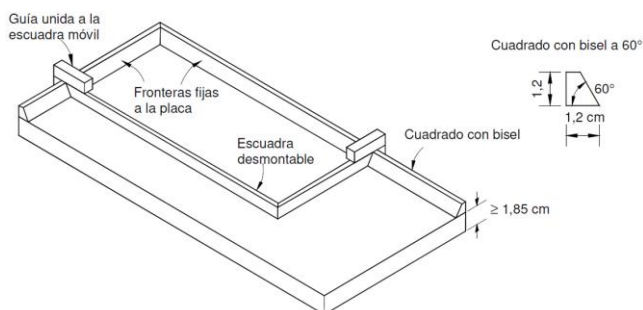


Imagen 38: Ejemplo de placa cabeceadora según la NMX-C-036-ONNCCE-2012

La superficie de la placa cabeceadora debe estar libre de ranuras, estrías o depresiones mayores de 0.25mm de profundidad en un área geométrica regular de 35mm² y su superficie de asiento no debe apartarse de un plano en más de 0.05mm en 150mm.⁴²

Dispositivo de alineamiento

Deben emplearse dispositivos de alineación tales como barras de guía o niveles de burbuja en unión con las placas de cabeceo, para asegurar que ninguna placa se aparte de la perpendicularidad al eje del espécimen en más de 0.5°.

NMX-C-037-ONNCCE

Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones.

En lo que se refiere a la prueba de absorción inicial y absorción total de agua en 24 horas, la NMX-C-441-ONNCCE-2013 que se refiere a bloques no estructurales establece una absorción inicial de 5g/cm²x min^{1/2} para muros expuestos al exterior, mientras que la absorción total a las 24h será de 25%. En cambio, la NMX-C-404-ONNCE-2012 referida a bloques estructurales establece una absorción inicial de 5g/cm²x min^{1/2} y una absorción total a las 24horas de 12%.

Según la NMX-C-037-ONNCCE-2013 la absorción inicial en un elemento de mampostería es la cantidad de agua que absorbe un espécimen por capilaridad en una de sus caras bajo determinadas condiciones durante 10

⁴² NMX-C-036-ONNCCE-2013

min de inmersión en agua potable donde esta lo cubra 5mm, manteniendo el nivel de agua constante en el recipiente y se expresa por un coeficiente de absorción.

El equipo que se requiere para la prueba es el siguiente:

- Balanza o báscula con capacidad no menor de 20kg y precisión no menor de 0.1% de la masa de la pieza de ensayo, provista de un sistema que permita la determinación de la masa del espécimen sumergido.
- Horno con ventilación y control de temperatura capaz de mantenerse entre los 378K \pm 5K (105°C \pm 5°C)
- Regla, flexómetro o vernier, graduados en mm.
- Cronómetro
- Frasco de 250ml para regular el agua a nivel constante.
- Recipiente de metal inoxidable de forma rectangular y área no menor a 1,936cm² con una profundidad mínima de 1.3cm.
- Dos barras iguales de metal inoxidable de longitud entre 12.7cm y 15.3cm cuya altura debe ser de 6mm \pm 1mm de sección transversal cuadrada, triangular o semicircular.⁴³

Prueba de resistencia a compresión

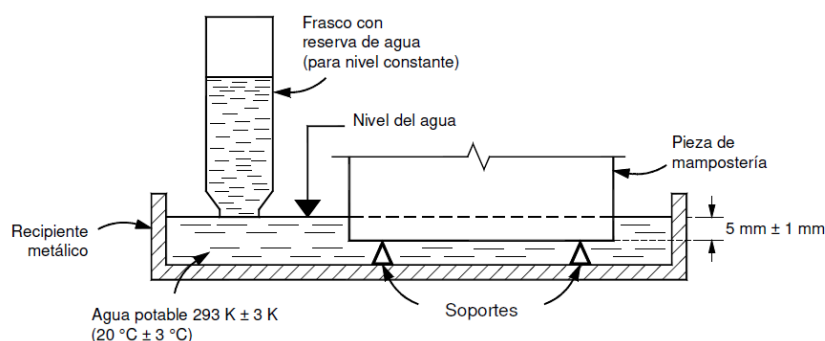


Imagen 39: Esquema de instrumento para medición de absorción inicial. NMX-C-037-ONNCCE-2013

previsto en el calendario de la investigación, por lo que las pruebas fueron realizadas en un laboratorio especializado privado.

Por razones de fuerza mayor las pruebas de compresión y absorción no se pudieron realizar en el laboratorio de Materiales de la UAM Azcapotzalco como estaba

⁴³ NMX-C-037-ONNCCE-2013

Se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión y de absorción inicial y a 24 horas con los siguientes resultados:

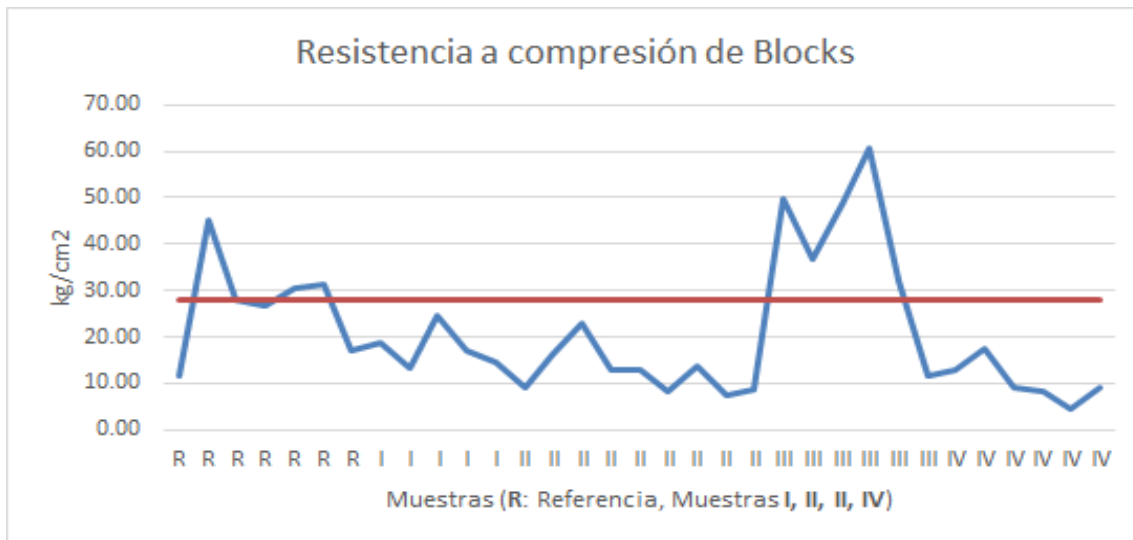


Tabla 5: Resistencia a compresión de blocks en laboratorio

Se puede observar que el espécimen con mayor resistencia es el tipo III, el cual ronda entre 36 y 60 kg/cm² de resistencia, por arriba de los 28 kg/cm² que requiere la NMX-441-ONNCCE-2013 para blocks no estructurales, por lo que es el diseño de mezcla que se necesita para que el Neublock sea factible de elaboración y uso en construcciones.



Imagen 40: Prueba de compresión en blocks



Imagen 41: Prensa para prueba a compresión

IV. 9 Prueba de absorción inicial y absorción a 24 horas

La siguiente prueba física realizada a los blocks fue la prueba de absorción inicial y a 24 horas, conforme la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013, esta prueba fue realizada solo al 30% de las muestras. Con los siguientes resultados:

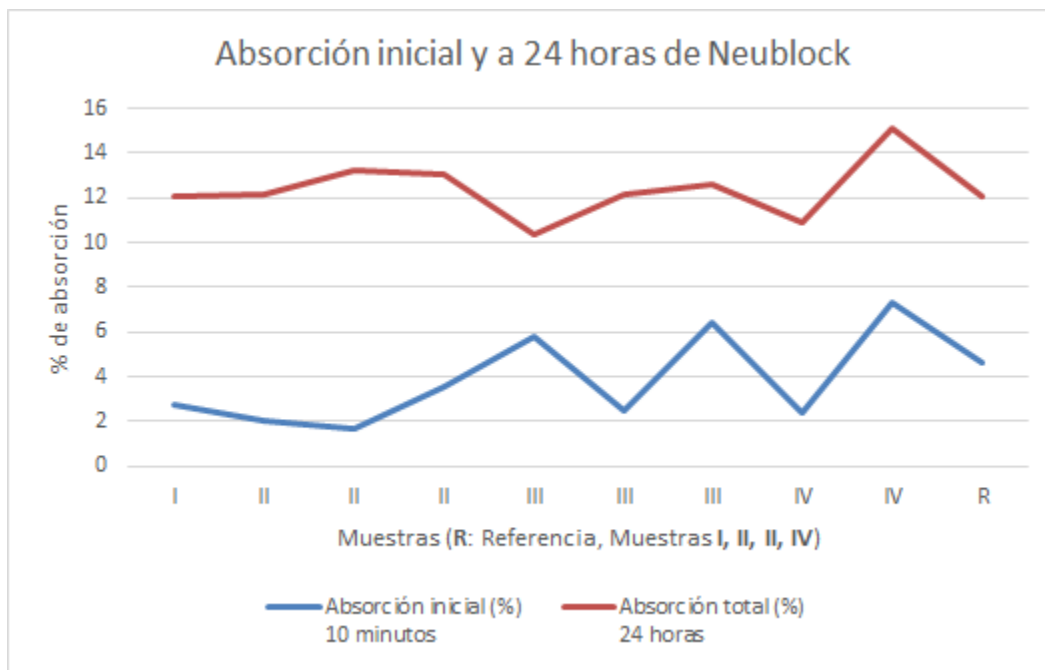


Tabla 29: Absorción inicial y a 24 horas en Neublock

La cantidad de absorción que limita la norma es de 25% para blocks no estructurales a las 24 horas, en este caso ningún block llegó a esa cantidad de absorción, siendo el máximo el espécimen IV con 15.09%. En el caso de la absorción inicial, los ejemplares de mezcla III oscilaron entre 2.46 y 6.45%, manteniéndose dentro de la normatividad para blocks no estructurales.



Imagen 40: Prueba de absorción en Neublock

IV.10 Prueba de intemperismo y FRX

En el laboratorio de Conservación del Patrimonio Natural y Cultural de la unidad de Posgrado de la UNAM se realizaron una serie de experimentaciones previas relativas al intemperismo acelerado en una máquina QUV para experimentos en probetas que contenían el diseño de mezcla inicial para la elaboración del Neublock. Los experimentos consistieron en 3 fases:

1. Observación de la unión del caucho con el cemento a través de microscopio estereoscópico para analizar el cambio aparente de un estado inicial al estado intemperizado.
2. Caracterización de los elementos químicos principales que componen el mulch o caucho reciclado de neumáticos fuera de uso a través de una pistola de Fluorescencia de Rayos X.
3. Intemperismo acelerado UV a una muestra de mulch de llanta reciclada a una temperatura de 60°C con una radiación UV constante de 1.5w durante 210 horas.

Resultados

Se observó y registró la muestra antes y después de la intemperización, obteniendo como resultado preliminar que aparentemente la exposición a rayos UV no afecta la unión entre el caucho y el cemento. Esta prueba será realizada a más detalle con el diseño de mezcla final del Neublock que logre satisfacer las necesidades mecánicas de la pieza para verificar si en una optimización de mezcla cambia el comportamiento de estos dos componentes.

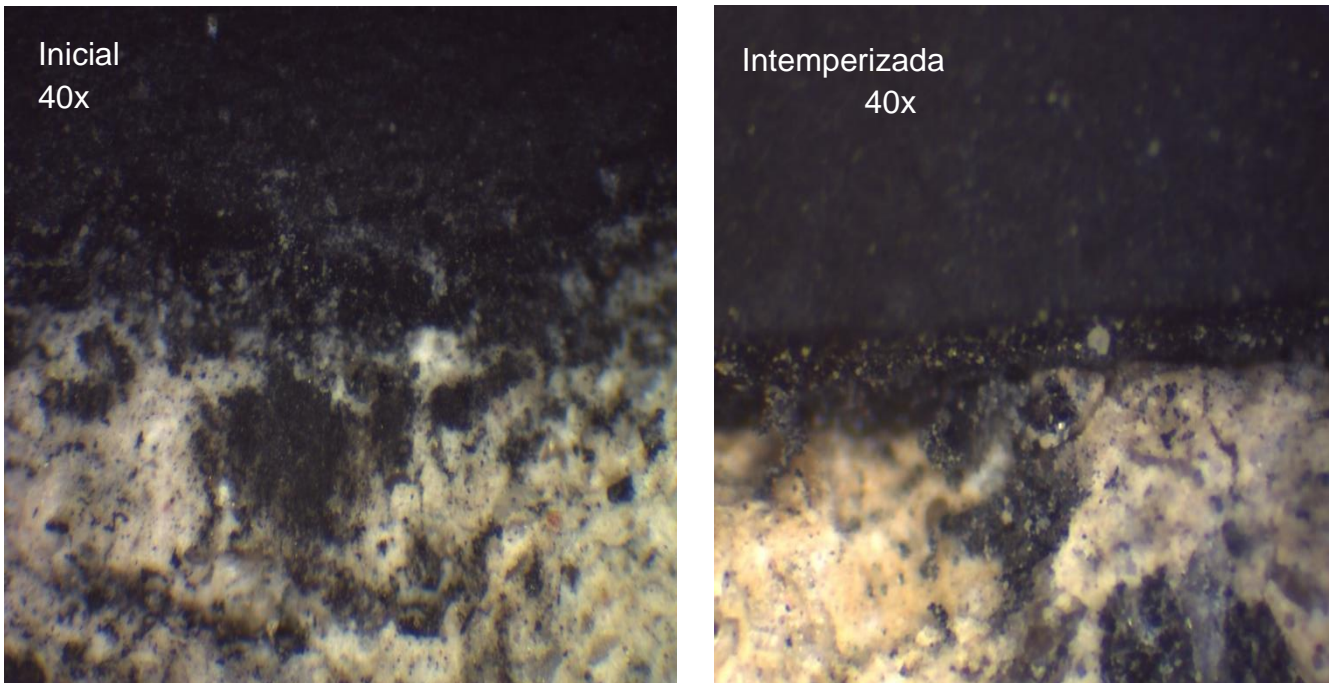
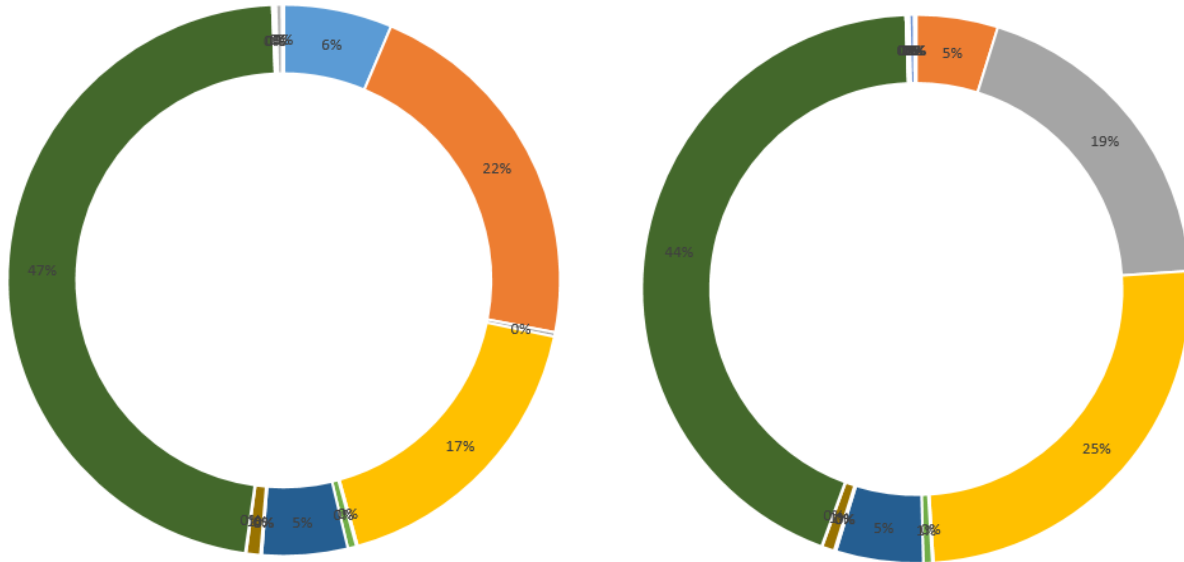


Imagen 41: Estado inicial y final del caucho con cemento después de ser intemperizado



| Al2O3 | SiO2 | P2O5 | S | Cl | K2O | CaO | TiO2 | MnO | Fe2O3 | Ni | Zn | Pd | Hf | Ta | Pb | | | | |
|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|----|------|----|
| 3.83 | 13.08 | 0.15 | 10.51 | 0.05 | 0.3 | 3.02 | 0.03 | 0.02 | 0.5 | 0.03 | 28.41 | 0.05 | 0.09 | 0.21 | 0.06 | | | | |
| 6% | 21% | 0% | 17% | 0% | 0% | 5% | 0% | 0% | 1% | 0% | 45% | 0% | 0% | 0% | 0% | | | | |
| MgO | Al2O3 | SiO2 | S | Cl | K2O | CaO | TiO2 | MnO | Fe2O3 | Ni | Zn | Rb | Sr | Pd | Hf | Ta | Pt | Pb | Bi |
| 0 | 2.5 | 9.95 | 13.02 | 0.04 | 0.27 | 2.67 | 0.05 | 0.01 | 0.38 | 0.02 | 22.75 | 0 | 0 | 0.05 | 0.06 | 0.15 | 0 | 0.06 | 0 |
| 0 | 5% | 19% | 25% | 0% | 1% | 5% | 0% | 0% | 1% | 0% | 44% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |

Imagen 42: Componentes de mulch de caucho según prueba FRX
Fluorescencia de Rayos X

Como resultado de la prueba de Fluorescencia de Rayos X se pudo observar que la intemperización por rayos Ultravioleta no cambia significativamente la composición química del mulch de caucho, manifestando la aparición de algunos elementos como el Sr (Estroncio), Pt (Platino) y Bi (Bismuto) en un porcentaje menor al 0.01%, 0.04% y 0.02% respectivamente. Atribuible a la resequedad del mulch y surgimiento de las fibras que contiene. Esta prueba tendrá que ser realizada extensivamente para verificar estos elementos y el cambio de composición del caucho.

IV. 11 Prueba de conductividad térmica

Como parte de las pruebas físicas al Neublock se realizaron en el Laboratorio de Entornos Sostenibles de la Facultad de Arquitectura de la UNAM una serie de prueba de caracterización de propiedades termofísicas a 5 especímenes de block elaborados en la planta bloquera de Tenancingo. Las pruebas se realizaron en dos fases: una consistente en la toma de dimensiones de la muestra y peso para poder obtener su masa y calcular su densidad y la segunda, consistente en la medición de conductividad térmica y capacidad

calorífica volumétrica con un analizador de propiedades térmicas con sensor de difusividad térmica.

Para la realización de las mediciones de conductividad térmica y capacidad calorífica volumétrica, se realizaron dos barrenos de 1/16" (1.59mm) y 2.5cm de profundidad. Dentro de los cuales se introduce el sensor de difusividad térmica de doble aguja SH-1 conectado a un analizador de propiedades térmicas Decagon KD2 Pro (el sensor de difusividad térmica consta de dos elementos, una aguja emisora de calor y un elemento sensor que detecta y mide los cambios de temperatura en las proximidades de la aguja emisora de calor, con la finalidad de verificar cuanto de este calor es absorbido por el material y cuanto es liberado). Estas pruebas se realizan en intervalos de 2 minutos, con un periodo de espera de 15 minutos para equilibrar térmicamente el sensor y el material que se mide.



Imagen 45: Prueba de conductividad térmica / capacidad calorífica volumétrica Neublock

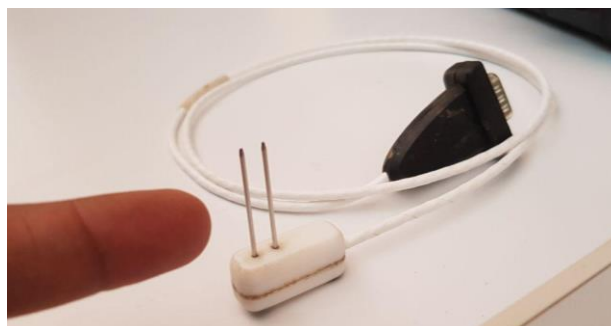


Imagen 43: Sensor de difusividad térmica de doble aguja SH-1 del analizador KD2 Pro.



Imagen 47: Barrenos de 1/16" para la instalación del sensor de difusividad térmica de doble aguja en Neublock

Resultados

| | | |
|----------------------------------|-----------|------------------------|
| Densidad | 1603.57 | kg/m ³ |
| Conductividad térmica | 0.446 | W/mK |
| Capacidad calorífica volumétrica | 1.448±0.4 | MJ/(m ³ ·K) |
| Calor específico | 916.446 | J/kg·K |

Tabla 30: Resultados de pruebas térmicas

IV. 12 Simulación térmica

Con el apoyo de la Dra. Adriana Lira Oliver del Laboratorio de Entornos Sostenibles de la Facultad de Arquitectura de la UNAM se pudo concretar la elaboración de un modelo teórico en escala arquitectónica de un departamento por medio del programa DesignBuilder para posteriormente poder exportarlo al software especializado de simulación térmica EnergyPlus, con los parámetros climáticos reales (obtenidos con el programa Meteonorm 7.2) de una locación ubicada en Ciudad Delicias, Chihuahua, (Lat. 28.2012, Long. -105.4624, 1,177msnm).

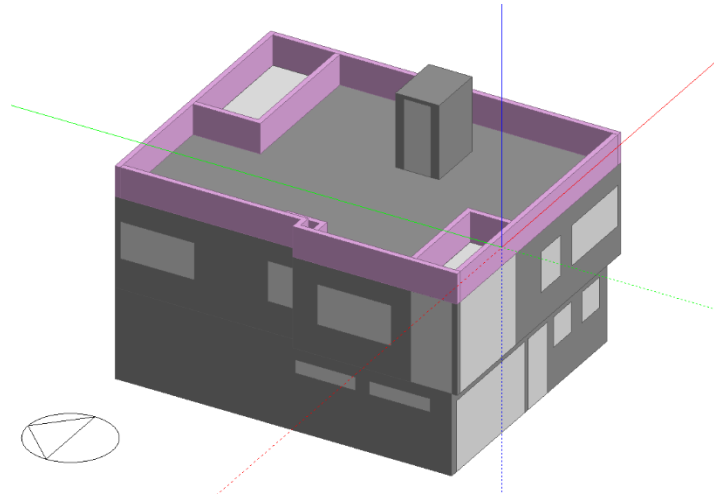


Imagen 44: Modelo de departamento en Design Builder

Esta simulación se generó en dos etapas, la primera etapa consta de introducir los parámetros reales de conductividad térmica de materiales de construcción comerciales; block de concreto para muros estructurales y muros divisorios y concreto armado para losas de entepiso y azotea, mientras que para la segunda etapa el cálculo se realizó cambiando los parámetros de

conductividad térmica del block de concreto comercial por los obtenidos en las pruebas realizadas a los especímenes de Neublock.

El cálculo en el modelo de EnergyPlus se realizó durante los 365 días del año, por cada hora, para así obtener los resultados de la variación de temperatura en el interior de los distintos espacios del departamento, con relación a la temperatura del exterior.

Como resultado se muestra la variación de temperatura entre el interior del departamento y el exterior (recámara 4) durante el día más cálido del año registrado (mayo 28) y el día más frío (enero 13). Se eligieron estos dos días ya que las temperaturas al exterior son las más extremosas, y el desempeño del material es más evidente bajo estas condiciones.

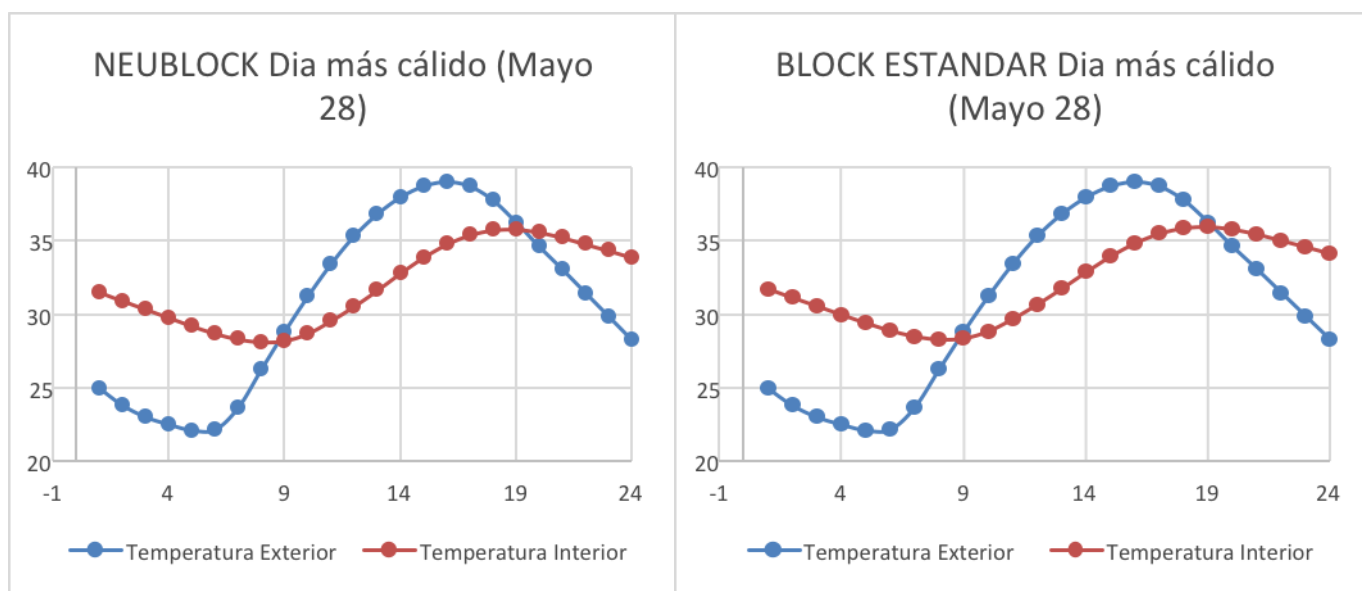


Imagen 46: Comparación de temperaturas en día más cálido

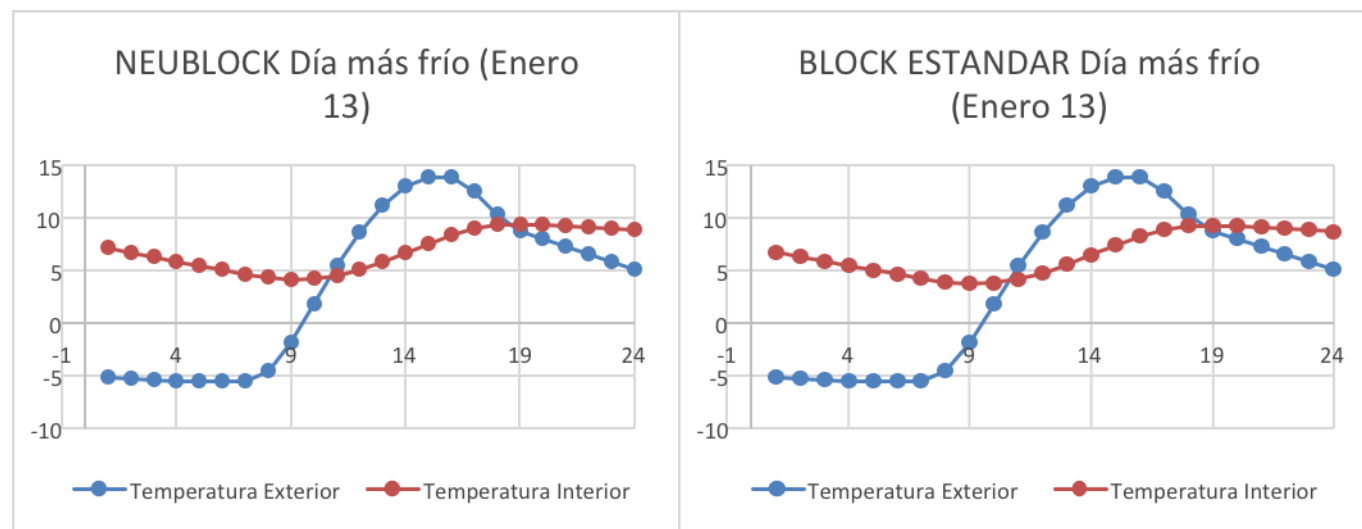


Imagen 45: Comparación de temperatura en día más frío

Los resultados de esta simulación muestran que, si hay una variación de temperatura interior del espacio por el uso del block convencional en comparación con el Neublock, esta variación se muestra en las gráficas 51C y 51F.

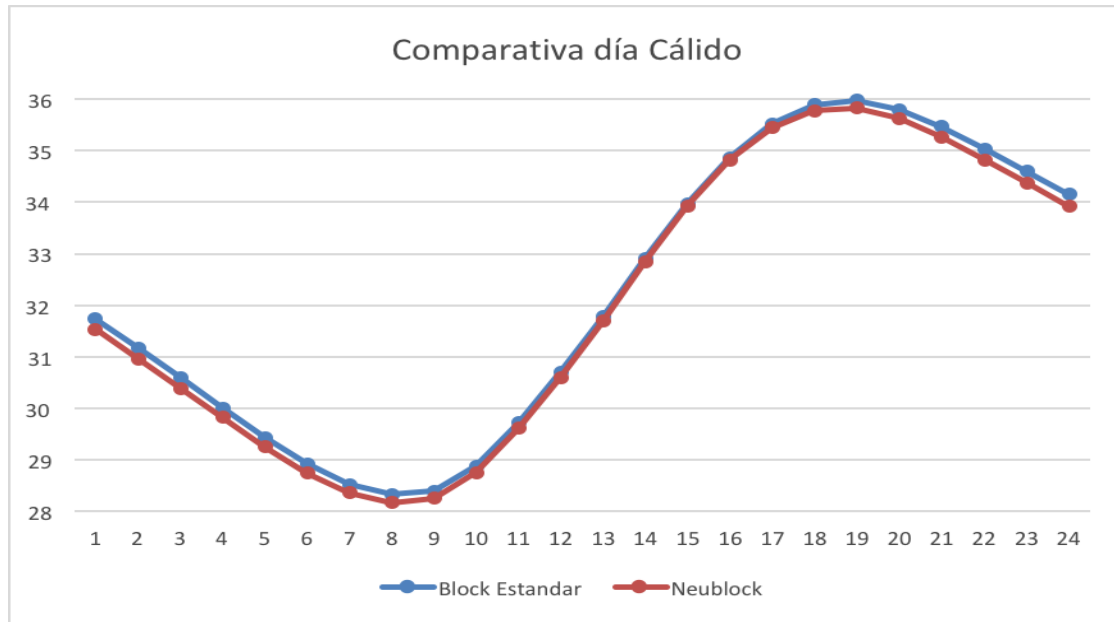


Imagen 51C: Comparativa de variaciones de temperatura, día más cálido

Se observa que el Neublock a comparación con el block convencional funciona como un material aislante ya que en un día cálido logra que la temperatura al interior del departamento se mantenga más fresca que el block convencional, mientras que en un día frío este tiene el efecto contrario, permitiendo una temperatura más cálida al interior.

Un factor importante en la simulación es la consideración de un sistema de aire acondicionado central, para poder aproximarse a las condiciones reales del uso de estos sistemas en ese tipo de clima.

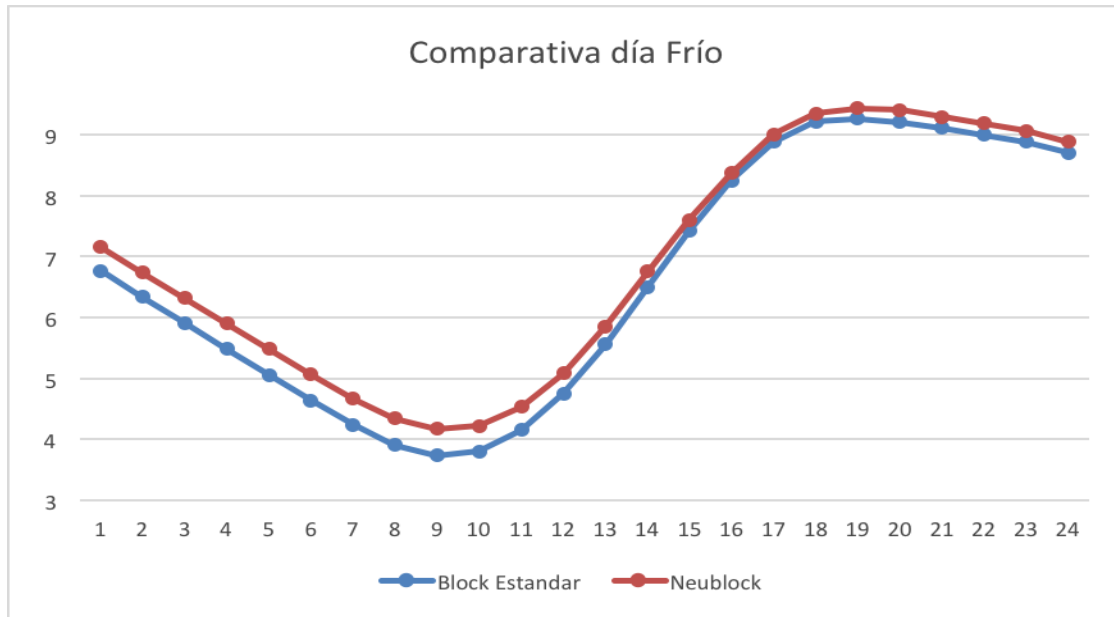


Imagen 51F: Comparativa de variaciones de temperatura, día más frío

Análisis de comodidad térmica

Un análisis más aplicado de los resultados de la simulación consta en la definición de horas de confort a lo largo del año y por cada estación. Los intervalos de comodidad térmica se calcularon con base en el modelo adaptativo propuesto por la ASHRAE 55.

En la imagen 51 se muestra un diagrama psicrométrico en donde se encuentran los datos climáticos anuales correspondientes a Cd. Delicias, Chihuahua; se pueden visualizar las temperaturas y humedades mínimas y máximas de cada mes, a su vez, en color verde se visualiza el estándar ASHRAE 55-2017 para confort térmico en un espacio interior, con un rango de temperatura-humedad específico. Dicho estándar es el que se utilizó para el cálculo de horas de comodidad térmica durante el año a través de los resultados de la simulación térmica en EnergyPlus.

Los resultados comparativos con los dos materiales (block de concreto convencional y Neublock) son los siguientes:

Resultados Concreto Convencional.

$$FD = 0.370017 + 0.070094 \text{ (descartando valores atípicos)}$$

$$tTL = 0.969697 + 5.604668 \text{ (descartando valores atípicos)}$$

Resultados Neublock.

$$FD = 0.37666 + 0.076924 \text{ (descartando valores atípicos)}$$

$$tTL = 1.074792 + 5.435112 \text{ (descartando valores atípicos)}$$

En donde:

FD: Factor de amortiguamiento

tTL: Tiempo de desfaseamiento

En la siguiente gráfica se representan los conceptos de factor de amortiguamiento (*A*) y el tiempo de desfaseamiento (*R*) los cuales se integran por la diferencia de tiempo en la variación de temperatura exterior contra la variación de la temperatura interior de un espacio dado, en el caso del desfaseamiento y en la diferencia de la amplitud de oscilación de la temperatura exterior contra la interior, para el caso del factor de amortiguamiento.

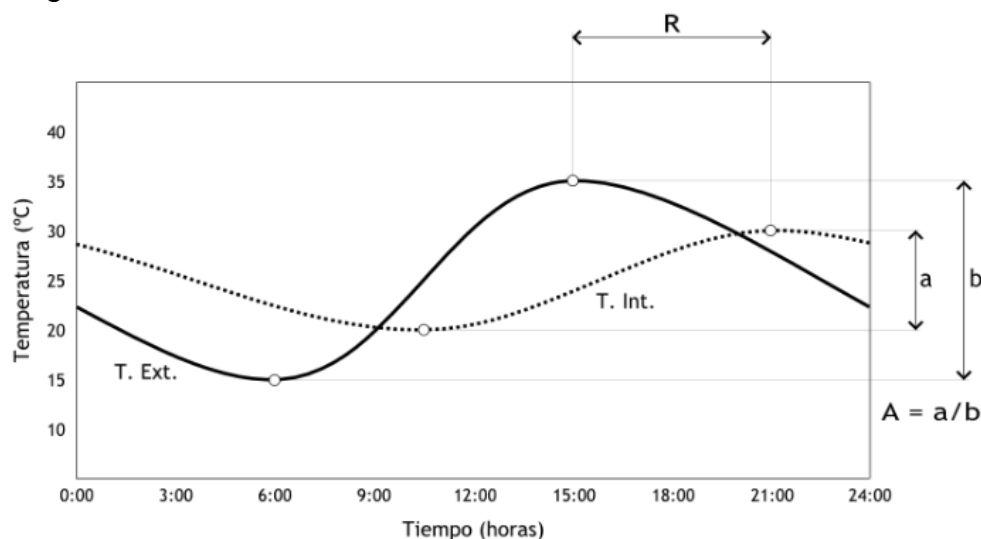


Imagen 52: Factor de amortiguamiento y tiempo de desfaseamiento

Fuente: Ordóñez, A. (2021)

Con base en el análisis de los resultados obtenidos de la simulación térmica, el Neublock tiene un desempeño térmico tal que permite al modelo en estudio, un 7.40% más horas de confort, a lo largo del año, a comparación con el block de concreto convencional.

Psychrometric Chart

ASHRAE 55-2017
Dry Bulb: 31.20 °C
Rel Humidity: 11.64%
Sensation: Neutral
SET: 25.93 °C
PMV: +0.43
PPD: 5.1%
COMPLIES
Class: B

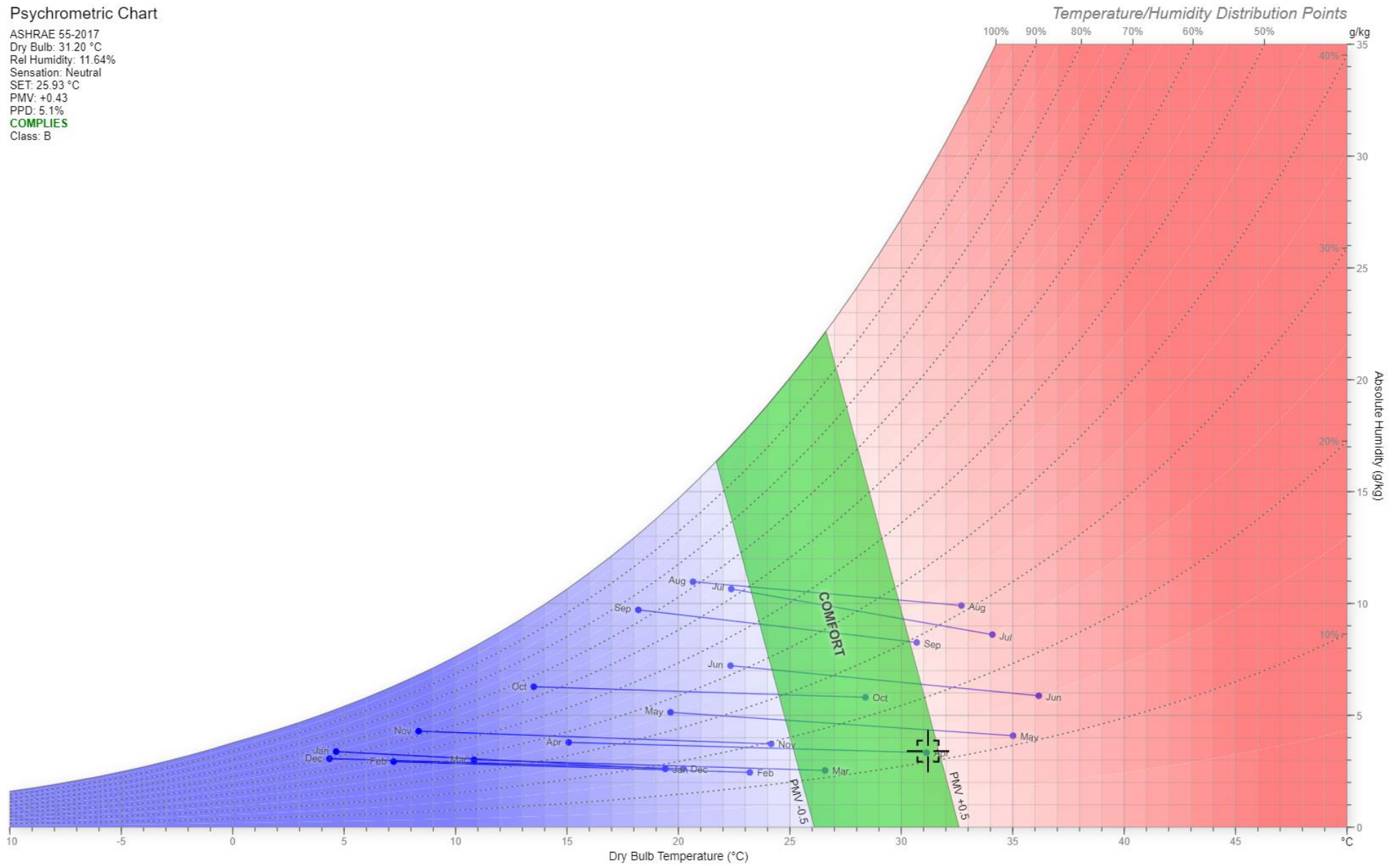


Imagen 52: Diagrama psicrométrico con el clima de Cd. Delicias, Chihuahua
Fuente: Marsh, A. (2018)

Horas de comodidad térmica.

Por mes:

BLOCK CONCRETO CONVENCIONAL

| Mes | Horas frías | Horas comodidad | Horas calientes | Horas Totales |
|--------------|-------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Enero | 744 | 0 | 0 | 744 |
| % | 100.0 | 0.0 | 0.0 | |
| Febrero | 666 | 6 | 0 | 672 |
| % | 99.1 | 0.9 | 0.0 | |
| Marzo | 578 | 166 | 0 | 744 |
| % | 77.7 | 22.3 | 0.0 | |
| Abril | 324 | 363 | 33 | 720 |
| % | 45.0 | 50.4 | 4.6 | |
| Mayo | 118 | 366 | 260 | 744 |
| % | 15.9 | 49.2 | 34.9 | |
| Junio | 8 | 228 | 484 | 720 |
| % | 1.1 | 31.7 | 67.2 | |
| Julio | 5 | 259 | 480 | 744 |
| % | 0.7 | 34.8 | 64.5 | |
| Agosto | 41 | 379 | 324 | 744 |
| % | 5.5 | 50.9 | 43.5 | |
| Septiembre | 161 | 442 | 117 | 720 |
| % | 22.4 | 61.4 | 16.3 | |
| Octubre | 424 | 286 | 34 | 744 |
| % | 57.0 | 38.4 | 4.6 | |
| Noviembre | 707 | 13 | 0 | 720 |
| % | 98.2 | 1.8 | 0.0 | |
| Diciembre | 744 | 0 | 0 | 744 |
| % | 100.0 | 0.0 | 0.0 | |
| ANUAL | 4520 | 2508 | 1732 | |
| % | 51.6 | 28.6 | 19.8 | |

Por estación:

BLOCK CONCRETO CONVENCIONAL

| Estación | Horas frías | Horas comodidad | Horas calientes | Horas Totales |
|-----------|-------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Primavera | 1020 | 895 | 293 | 2208 |
| % | 46.2 | 40.5 | 13.3 | |
| Verano | 54 | 866 | 1288 | 2208 |
| % | 2.4 | 39.2 | 58.3 | |
| Otoño | 1292 | 741 | 151 | 2184 |
| % | 59.2 | 33.9 | 6.9 | |
| Invierno | 2154 | 6 | 0 | 2160 |
| % | 99.7 | 0.3 | 0.0 | |

Horas de comodidad térmica.

Por mes:

NEUBLOCK

| Mes | Horas frías | Horas comodidad | Horas calientes | Horas Totales |
|-------------------|-------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Enero | 744 | 0 | 0 | 744 |
| % | 100.0 | 0.0 | 0.0 | |
| Febrero | 666 | 6 | 0 | 672 |
| % | 99.1 | 0.9 | 0.0 | |
| Marzo | 578 | 166 | 0 | 744 |
| % | 77.7 | 22.3 | 0.0 | |
| Abril | 324 | 365 | 31 | 720 |
| % | 45.0 | 50.7 | 4.3 | |
| Mayo | 119 | 374 | 251 | 744 |
| % | 16.0 | 50.3 | 33.7 | |
| Junio | 8 | 234 | 478 | 720 |
| % | 1.1 | 32.5 | 66.4 | |
| Julio | 5 | 265 | 474 | 744 |
| % | 0.7 | 35.6 | 63.7 | |
| Agosto | 37 | 389 | 318 | 744 |
| % | 5.0 | 52.3 | 42.7 | |
| Septiembre | 165 | 443 | 112 | 720 |
| % | 22.9 | 61.5 | 15.6 | |
| Octubre | 429 | 284 | 31 | 744 |
| % | 57.7 | 38.2 | 4.2 | |
| Noviembre | 711 | 9 | 0 | 720 |
| % | 98.8 | 1.3 | 0.0 | |
| Diciembre | 744 | 0 | 0 | 744 |
| % | 100.0 | 0.0 | 0.0 | |
| ANUAL | 4530 | 2535 | 1695 | |
| % | 51.7 | 28.9 | 19.3 | |

Por estación:

NEUBLOCK

| Estación | Horas frías | Horas comodidad | Horas calientes | Horas Totales |
|------------------|-------------|-----------------|-----------------|---------------|
| Primavera | 1021 | 905 | 282 | 2208 |
| % | 46.2 | 41.0 | 12.8 | |
| Verano | 50 | 888 | 1270 | 2208 |
| % | 2.3 | 40.2 | 57.5 | |
| Otoño | 1305 | 736 | 143 | 2184 |
| % | 59.8 | 33.7 | 6.5 | |
| Invierno | 2154 | 6 | 0 | 2160 |
| % | 99.7 | 0.3 | 0.0 | |

IV. 13 Análisis de resultados de simulación térmica

Los resultados del análisis térmico arrojan que la conductividad térmica del Neublock, a comparación del block de concreto tradicional, es menor, dato que se traduce en un material con capacidades de aislamiento térmico mayores, que a su vez se ven reflejados numéricamente en una ganancia de 7.40% más horas de confort a lo largo del año.

Cabe resaltar la diferencia de horas al año que el Neublock mantiene el espacio interno del modelo de simulación dentro de los parámetros de caliente y frío. En el caso de los días predominantemente fríos, se manifiesta un incremento de 2.74% en el Neublock, y para los días calientes se ve reducido en un 10.14%. El Neublock, por ende, amortigua más el ingreso del calor y frío del ambiente hacia el interior del espacio, pero es más sensible a las variaciones de temperatura, pues la desviación estándar del factor de amortiguamiento es mayor que la desviación del block de concreto. La explicación de la sensibilidad a la variación de temperatura es muy probable que sea por la composición de los elementos del material, que en el caso del Neublock son más heterogéneos que los del block convencional, por lo que inclusive puede que se presenten huecos con aire, que modifican el funcionamiento como elemento aislante.

Por las características climáticas del sitio en estudio, el desempeño del amortiguamiento térmico fue mayor durante de los meses más cálidos, por lo que se puede concluir que el Neublock tiene mejor desempeño en climas cálidos con respecto al block convencional, puesto que tiene menos inercia térmica que este, por lo que retiene menor tiempo el calor al tener una menor capacidad de almacenamiento. Potencialmente disminuye la demanda energética de HVAC por tener una conductancia térmica menor que el concreto convencional.

V. Conclusiones Generales

La importancia de un material ecológico como es el Neublock reside en la creciente necesidad de generar y utilizar materiales que tengan capacidades de aislamiento térmico para ser utilizados en envolventes y poder reducir el consumo energético de las viviendas por climatización artificial. En esta investigación se diseñó un material a base de elementos considerados de desecho pero que pueden ser reutilizados de manera eficiente para generar un material avanzado.

Los resultados de las distintas pruebas realizadas al Neublock arrojan que es factible su elaboración y su uso para ser comercializado, sin embargo, hay factores importantes a tomar en consideración como el proceso de elaboración en una planta bloquera, que no es el mismo para un block de concreto comercial, por la morfología y texturas heterogéneas del mulch de caucho. Se tiene que determinar un procedimiento previo para la selección del mulch adecuado que no contenga un exceso de fibras metálicas y textiles para no afectar la mezcla al momento de entrar en el molde para vibrado y compactado. Este proceso adicionalmente se tiene que realizar artesanalmente y hasta que no se encuentre un procedimiento para lograr eliminar las obstrucciones de fibras en el molde no será factible elaborarlo de manera ordinaria.

Con base en la norma NMX-C-441-ONNCCE-2013, alusiva a la resistencia a compresión para blocks no estructurales, la resistencia media esperada para un block no estructural es de 3.5 MPa (35kg/cm²). La muestra de Neublock (III) que resultó con una mayor resistencia se encuentra entre los 36 y 60kg/cm², por lo tanto entra dentro del rango de block no estructural, pudiendo ser empleado como material para muros divisorios o en su caso muros de envolventes que no impliquen un trabajo estructural, necesariamente se tiene que considerar que el sistema constructivo sería a base de marcos rígidos construidos en una etapa anterior a construir el muro con Neublock, para asegurarse que el mismo no reciba una carga estructural. Por el lado de la conductividad térmica, el Neublock mostró 0.446 W/mK comparado con la conductividad térmica del block de concreto convencional que ronda en 0.761 W/mK, por lo que tiende a tener mayor capacidad de aislamiento, lo cual se ve reflejado en los resultados de la simulación térmica, siendo que durante el día más cálido del año se mantienen temperaturas al interior más bajas o “frescas” que con el block convencional, y durante el día más frío del año se mantiene al interior del modelo teórico temperaturas más cálidas o cercanas al confort térmico, sin embargo los resultados varían ligeramente en el análisis por horas de confort térmico, mostrando efectivamente una menor conductancia térmica, pero al tener menor inercia

térmica, durante los meses fríos, tiende a mantener los espacios interiores más fríos que el block convencional, por lo que teóricamente funcionará mejor como material aislante en climas cálidos.

Como consecuencia final, el uso del Neublock como elemento constructivo para muros, potencialmente disminuye la demanda energética de HVAC, con respecto al block convencional, por lo que podría fungir como uno de los elementos para cumplir uno de los objetivos de las NOM mexicanas para mitigación de impacto ambiental por construcción.



VI. Definiciones

Bloque es una pieza de mampostería cuyo largo nominal es de 400mm o mayor en módulos de 100mm y cuya altura nominal es de 200mm (incluyendo la junta de albañilería). Generalmente se fabrica de concreto y puede ser macizo, multi perforado o hueco⁴⁴

En México hay diversos tipos de block de cemento-arena dependiendo del fabricante, la NMX-404-ONNCCE-2012 prescribe las dimensiones externas estandarizadas junto con el espesor de sus paredes para block hueco estructural:

| Dimensión <i>modular</i> de blocks en cm (ancho x alto x largo) | Dimensión de <i>fabricación</i> de blocks en cm (ancho x alto x largo) | Espesor mínimo de paredes <i>exteriores</i> (mm) | Espesor mínimo de paredes <i>interiores</i> (mm) |
|---|--|--|--|
| 10x20x40 | 10x19x39 | 20* | 20 |
| 12x20x40 | 12x19x39 | 20* | 20 |
| 14x20x40 | 14x19x39 | 25* | 25 |
| 15x20x40 | 15x19x39 | 25* | 25 |
| 20x20x40 | 20x19x39 | 32 | 25 |
| 25x20x40 | 25x19x39 | 32 | 30 |
| 30x20x40 | 30x19x39 | 32 | 30 |

Tabla 31: Espesor de paredes para bloques lisos. Fuente: NMX-404-ONNCCE-2012

*Nota: En caso de paredes de bloques expuestas a la intemperie sin recubrimiento el espesor mínimo debe ser de 30mm en un 90% del área de dicha cara.

⁴⁴ NMX-404-ONNCCE-2012

VII. Bibliografía

- Secretaría Nacional de Energía 2017 (2018) *Balance Nacional de Energía*, México. Sitio web:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energ_a_2017.pdf
- Secretaría Nacional de Energía, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018) *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares ENCEVI 2018. Presentación de Resultados*, México. Sitio web:
https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encevi/2018/doc/encevi2018_presentacion_resultados.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2018) *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015 INEGYCEI*. México. Sitio web:
https://unfccc.int/sites/default/files/resource/MEXNIR_Revisada_0.pdf.
- Reciclaje de llantas usadas: La nueva economía ecológica. Sitio web:
<http://elsahuaro.altervista.org/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas/>
- Plan Municipal de Desarrollo Urbano Cd. Delicias, Chih
<https://municipiodelicias.com/historico-informacion-publica/planeacion/plan-municipal-de-desarrollo-2018-2021.html>
- Nava, R. (2019) *Eficiencia energética para edificaciones*. Webinar presentado el 4 de abril del 2019. Mexico. Sitio web:
<https://www.youtube.com/watch?v=kKWYvcl6sUU>
- Gambino, M. (2009) *A Salute to the Wheel*. Smithsonian Magazine Online, Sitio web: <https://www.smithsonianmag.com/science-nature/a-salute-to-the-wheel-31805121/>
- <https://www.historyanswers.co.uk/inventions/evolution-of-the-wheel/>
<https://blog.tirerack.com/blog/alexs-automotive-performance-guide/when-should-i-replace-my-tires>

- https://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/asi-era-la-roma-imperial_9800/6#slide-5#slide-5
- Neville, A. (1998) *Tecnología del Concreto*, Trillas. México.
- Castellón, B. (2006) *Tecnología del Concreto*, Tesis para el título de Ingeniero Civil, FES Aragón, UNAM, México
- https://http2.mlstatic.com/antiguo-telefono-baquelita-1950-D_NQ_NP_734511-MLA20566981730_012016-F.jpg
- http://www.linwen.cn/images/product_fire_cone_figure_6.gif
- D. Sánchez de Guzmán, *Tecnología del concreto y del mortero*, Pontificia Universidad Javeriana, 1986
- R. Álvarez, *Que daños a la salud ocasiona la quema de llantas*, RPP Noticias, 10 diciembre 2013 (Electrónico) recuperado del world wide web <http://vital.rpp.pe/expertos/que-danos-a-la-salud-ocasiona-la-quema-de-llantas-noticia-654039>
- Polimeros en la construcción Universidad de Alcalá [Electrónico]. https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG-82008/TAB42351/aplconstruccion.htm [Recuperado el 7 de marzo 2018, de Word Wide Web.]
- Albano C., Camacho, N., Hernández, H., Bravo, A., & Guevara, H. (2008). *Estudio de concreto elaborado con caucho de reciclado de diferentes tamaños de partículas*. Abril 26, 2018, de Revista de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela Sitio web: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652008000100005
- Estructura atómica y propiedades físicas de los materiales cerámicos. [Electrónico]. <http://www4.tecnun.es/asignaturas/pulvimetal/docs/Tema111.pdf> [Recuperado el 30 de marzo 2018, de Word Wide Web.]
- <https://newatlas.com/ovillanta-tire-mosquito-trap/42726/>

- Manejo de llantas usadas A.C. (2018). Reciclaje de llantas. mayo 1, 2018, de Reciclallantas Sitio web: <http://reciclallantas.org.mx/#!>
- Ali R. Khaloo, M. Degestani, P. Rahmatabadi. (2008). *Mechanical properties of concrete containing a high volume of tire–rubber particles* mayo 11, 2018, de Science Direct Sitio web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X08000366>
- L. Guerrero. (2007). *La pérdida de la arquitectura de adobe en México.* Mayo 11, 2018, de Heritage at Risk Sitio web: https://www.icomos.org/risk/world_report/2006-2007/pdf/H@R_2006-2007_31_National_Report_Mexico.pdf
- *Reciclaje de llantas usadas, la nueva economía ecológica en México.* Mayo 7, 2018, de Sitio web: <http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas/>
- *Componentes de los neumáticos y negro de humo obtenido de su tratamiento por pirolisis.* Mayo 8, 2018, de Sitio web: <https://almacennuclear.wordpress.com/2010/10/15/componentes-de-los-neumaticos-y-negro-de-humo-obtenido-de-su-tratamiento-por-pirolisis/>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2008). *Unidades económicas sector 23. Construcción.* Mayo 3, 2018, de INEGI Sitio web: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=08#tabMCcollapse-Indicadores>
- Servicio Meteorológico Nacional. (2018). *Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia.* Mayo 8, 2018, de SMN Sitio web: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Comisión Nacional de Vivienda. (2018). *Inventario de Vivienda Vigente por Valor de la Vivienda.* mayo 12, 2018, de CONAVI Sitio web: http://www.conavi.gob.mx:8080/Reports/Inv_Viv_Vig/Inv_x_TipViv.aspx
- Leather, T.. (2010). *Seas of Rubber: The Truth About Tire Recycling.* Mayo 11, 2018, de Recycle Nation Sitio web: <https://recyclenation.com/2010/06/sea-rubber-truth-tire-recycling/>

- Botero, J. et. al.. (2005). *Gomas trituradas: estado del arte, situación actual y posibles usos como materia prima en Puerto Rico*. Mayo 11, 2018, de concretonline Sitio web: http://www.concretonline.com/pdf/09rcd/art_tec/93-333-1-PB.pdf
- Romo, M., Córdova, G., Fuentes, C., & Brugués, A. (2012). *La vivienda nueva en la ciudad de Chihuahua: oferta y demanda*. Mayo 13, 2018, de SCIELO Sitio web: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212012000300005&script=sci_arttext
- Herrera, L. (2017). Evaluación térmica del material Isoblock en el clima cálido seco de Ciudad Juárez, México. *Hábitat Sustentable*, 7, 18-27.
- Beston. (2016). *Tyre Pyrolysis Plant Project Report*. Mayo 13, 2018, de Beston Sitio web: <http://tyrepyrolysisplants.net/tyre-pyrolysis-plant-project-report>
- Rubio A, Cardo MV & Vezzani D.. (2011). *Tire-breeding mosquitoes of public health importance along an urbanisation gradient in Buenos Aires, Argentina*. Mayo 13, 2018, de National Center for Biotechnology Sitio web: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22012221>
- Walker, K. (2016). Eco-friendly trap designed to stop spread of virus-carrying mosquitoes. Mayo 13, 2018, de Design Indaba Sitio web: <http://www.designindaba.com/articles/creative-work/eco-friendly-trap-designed-stop-spread-virus-carrying-mosquitoes>.
- M. Enserink (2010) Yellow Fever Mosquito show in Northern Europe. Mayo 28, 2018, de Science Magazine 329. Sitio web: <http://science.sciencemag.org/content/329/5993/736>
- M. Riddle. (2009). The Everett Tire Fire begins on September 24, 1984. Mayo 28, 2018 de History Link. Sitio web <http://www.historylink.org/File/9233>.
- R. Livsey (1990) Heyope, Knighton (Fire) Mayo 28, 2018 de HC Deb. Sitio web https://api.parliament.uk/historic-hansard/commons/1990/jul/26/heyope-knighton-fire#column_689
- R. Bruce, J. Santodonato & M. Neal (1987) *Summary Review of the Health Effects Associated With Phenol*. Mayo 28, 2018 de Sage Journals.

Sitio web:

<http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/074823378700300407>

- Michelin. Proceso de fabricación.
http://www.michelinearthmover.com/esl_la/Bienvenido/Neumaticos/Por-que-elegir-michelin/proceso-de-fabricacion
- R. Ortega, R. Arroyo (2008) Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del block de concreto para la construcción de muros estructurales utilizados en edificios de viviendas de interés social, en la ciudad de Chilpancingo, Gro. De Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Veracruz, Ver. 2008. Sitio web:
http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_15/te_06/ar_10.pdf
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) Norma Mexicana NMX-C-404-ONNCCE-2012
Industria de la Construcción-mampostería-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural – Especificaciones y Métodos de Ensayo, México, 2012
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) Norma Mexicana NMX-C-441-ONNCCE-2013
Industria de la Construcción-mampostería-bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural – Especificaciones y Métodos de Ensayo, México, 2013
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) Norma Mexicana NMX-C-024-ONNCCE-2012
Industria de la Construcción-mampostería-determinación de la contracción por secado de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones- Método de Ensayo, México, 2012
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2013

Industria de la Construcción-mampostería-Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines- Método de ensayo, México, 2013

- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) Norma Mexicana NMX-C-036-ONNCCE-2013

Industria de la Construcción-mampostería-Determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones-Método de ensayo, México, 2013.

- Ordoñez, A. (2018) Nivel de masa térmica en los edificios. Sitio web: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/nivel-de-masa-termica>

VIII. Anexos

Caracterización y pruebas físicas realizadas en el Laboratorio del Departamento de Materiales de la Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Azcapotzalco.



Universidad
Autónoma
Metropolitana
Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN



PROYECTO: NEUBLOCK

FECHA: 06/11/2019

MUESTRA: ARENA DE BANCO TENANGO DEL VALLE, EDO. DE MEX.

| PRUEBA | DATOS | GRAVA | ARENA | UNIDADES | |
|---|--|-------|--------------|--------------|----------|
| Peso específico saturado superficie seca | Peso del material en estado saturado superficie seca | Psss1 | 0.500 | kg | |
| | Volúmen de la muestra en estado saturado superficie seca (grava) | V1 | ----- | ml (cm3) | |
| | Volúmen de la muestra en estado saturado superficie seca (grava)=V1/1000 | V | ----- | dm3 | |
| | Volúmen inicial del frasco de Chapman (arena) | Vo | ----- | 200.0 | ml (cm3) |
| | Volúmen final del frasco de Champan (arena) | Vf | ----- | 407.0 | ml (cm3) |
| | Volúmen de la muestra en estado saturado superficie seca (arena)=Vf-Vo | V2 | ----- | 207.0 | ml (cm3) |
| | Volúmen de la muestra en estado saturado superficie seca (arena)=V2/1000 | V | ----- | 0.207 | dm3 |
| | Peso específico saturado superficie seca = Psss1/V | Pesss | | 2.415 | kg/dm3 |
| Absorción | Peso del material en estado saturado superficie seca | Psss2 | 0.200 | kg | |
| | Peso del material en estado seco | Ps | 0.190 | kg | |
| | Absorción = (Psss2-Ps)/Ps | A | 0.053 | Decimales | |
| | Grado de Absorción = A*100 | A% | 5.32% | Porcentaje | |
| Peso específico seco | Peso específico saturado superficie seca | Pesss | 2.415 | kg/dm3 | |
| | Absorción | A | 0.053 | Decimales | |
| | Peso específico seco = Pesss/(1+A) | Pes | 2.293 | kg/dm3 | |



MASA SUELTA Y MASA COMPACTADA



PROYECTO: *NEUBLOCK*

FECHA: 06/11/2019

MUESTRA: *ARENA DE BANCO TENANGO DEL VALLE, EDO. DE MEX.*




TARA Olla (g) 2470.8

Vol. Olla (dm3) 2.79

Tara Vidrio (g) 756.3

| PRUEBA | # | MASA SUELTA+TARA (g) | MASA SUELTA NETA (g) | MASA COMPACTADA+TARA (g) | MASA COMPACTADA NETA (g) | MVs = Ms/Volla | MVc = Mc/Volla | Correccion % H MVs <i>MVs sin corregir / (1+H)</i> | Correccion % H MVc <i>MVs sin corregir / (1+H)</i> | PVC | PVS |
|----------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|----------------|---|---|-----------------|-------------|
| MUESTREO MASA SUELTA | 1 | 5727.4 | 3256.6 | 6543.1 | 4072.3 | 1167.24 | 1459.61 | 121.92 | 152.46 | 1459.61 | 1167.24 |
| | 2 | 5776.5 | 3305.7 | 6469.5 | 3998.7 | 1184.84 | 1433.23 | 123.76 | 149.70 | 1433.23 | 1184.84 |
| | 3 | 5723.3 | 3252.5 | 6544.8 | 4074.0 | 1165.77 | 1460.22 | 121.76 | 152.52 | 1460.22 | 1165.77 |
| | 4 | 5780.0 | 3309.2 | 6374.5 | 3903.7 | 1186.09 | 1399.18 | 123.89 | 146.14 | 1399.18 | 1186.09 |
| | 5 | 5764.6 | 3293.8 | 6447.6 | 3976.8 | 1180.57 | 1425.38 | 123.31 | 148.88 | 1425.38 | 1180.57 |
| | 6 | | | 6523.3 | 4052.5 | ----- | 1452.51 | | 151.71 | 1452.51 | 0.00 |
| | 7 | | | | | | | | | 1438 | 1177 |
| | 8 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | PROMEDIO | |
| Humedad (%) | Peso inicial | | | 609.10 | g | | | | | | |
| | Peso seco | | | 561.00 | g | | | | | | |
| | H(%) = ((Pi - Pf) / Pf) * 100 | | | 8.57 | % | | | | | | |

Resultados de pruebas en blocks: compresibilidad, absorción inicial y a 24 horas

|  | | GRUPO LAC MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA | | | | | | | | |
|---|------------|---|---------|---|---------|------------|---------|---------|---------|------------------------|
| | | CONTROL DE CALIDAD | | | | | | | | |
| | | ENSAYE DE BLOQUES Y TABIQUES | | | | | | | | |
| | | Fecha de ensaye: 31 de julio de 2020 | | | | | | | | |
| | | Fabricante: Neublock | | | | | | | | |
| | | Localización: Tenango del Valle, Estado de México. | | | | | | | | |
| Espécimen No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Etiquetado | Sin puntos | 4 puntos | 3 rayas | 3 rayas | 1 raya | 1 diagonal | 3 rayas | 3 rayas | 2 rayas | 4 puntos 1 diagonal |
| Peso seco (g) | 11450 | 12150 | 12800 | 12650 | 12500 | 12500 | 12750 | 13100 | 11100 | 11500 |
| Ancho (cm) | 11.9 | 11.8 | 11.8 | 11.6 | 11.7 | 11.7 | 11.5 | 11.6 | 11.7 | 11.5 |
| Altura (cm) | 17.2 | 17.8 | 17.7 | 17.6 | 17.2 | 17.1 | 17.6 | 17.6 | 17.5 | 17.5 |
| Largo (cm) | 37.0 | 37.7 | 37.5 | 37.5 | 37.4 | 37.7 | 37.6 | 37.6 | 37.5 | 37.6 |
| Área (cm ²) | 440.30 | 444.86 | 442.50 | 435.00 | 437.58 | 441.09 | 432.40 | 436.16 | 438.75 | 432.40 |
| Volumen (cm ³) | 7573.16 | 7918.51 | 7832.25 | 7656.00 | 7526.38 | 7542.64 | 7610.24 | 7676.42 | 7678.13 | 7567.00 |
| Peso volumétrico (ton/m ³) | 1.51 | 1.53 | 1.63 | 1.65 | 1.66 | 1.66 | 1.68 | 1.71 | 1.45 | 1.52 |
| Carga máxima (kg) | 5200 | 5800 | 22000 | 16000 | 8200 | 7800 | 21000 | 26400 | 4000 | 4000 |
| Resistencia al Esfuerzo de Compresión (kg/cm ²) | 11.81 | 13.04 | 49.72 | 36.78 | 18.74 | 17.68 | 48.57 | 60.53 | 9.12 | 9.25 |
| Observaciones: | | | | | | | | | | |
|  Téc. Andrés Hernández Castillo Téc. Laboratorista | | | |  M. en C. Humberto Cuevas Ochoa Director General | | | | | | |



GRUPO LAC MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA

CONTROL DE CALIDAD

ENSAYE DE BLOQUES Y TABIQUES

Fecha de ensaye: **1 de agosto de 2020**

Fabricante: **Neublock**

Localización: **Tenango del Valle,
Estado de México.**

| Espécimen No. | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---------|------------|---------|----------|---------|---------|------------|---------|------------|------------|
| Etiquetado | 2 rayas | Sin puntos | 1 punto | 3 puntos | 2 rayas | 2 rayas | Sin puntos | 1 raya | Sin puntos | Sin puntos |
| Peso seco (g) | 11420 | 15100 | 12700 | 12400 | 13120 | 11700 | 14600 | 13050 | 12800 | 13750 |
| Ancho (cm) | 11.6 | 11.7 | 11.6 | 11.8 | 11.6 | 11.6 | 11.4 | 11.5 | 11.7 | 11.5 |
| Altura (cm) | 17.5 | 17.6 | 17.5 | 17.4 | 17.6 | 17.5 | 17.7 | 17.4 | 17.0 | 17.6 |
| Largo (cm) | 37.5 | 37.8 | 37.7 | 37.6 | 37.6 | 37.6 | 37.7 | 37.7 | 37.6 | 37.6 |
| Área (cm ²) | 435.00 | 442.26 | 437.32 | 443.68 | 436.16 | 436.16 | 429.78 | 433.55 | 439.92 | 432.40 |
| Volumen (cm ³) | 7612.50 | 7783.78 | 7653.10 | 7720.03 | 7676.42 | 7632.80 | 7607.11 | 7543.77 | 7478.64 | 7610.24 |
| Peso volumétrico (ton/m ³) | 1.50 | 1.94 | 1.66 | 1.61 | 1.71 | 1.53 | 1.92 | 1.73 | 1.71 | 1.81 |
| Carga máxima (kg) | 7000 | 20000 | 5800 | 14200 | 10000 | 5600 | 12000 | 10700 | 11800 | 13200 |
| Resistencia al Esfuerzo de Compresión (kg/cm ²) | 16.09 | 45.22 | 13.26 | 32.01 | 22.93 | 12.84 | 27.92 | 24.68 | 26.82 | 30.53 |

Observaciones:

Téc. Andrés Hernández Castillo
Téc. Laboratorista

M. en C. Humberto Cuevas Ochoa
Director General



GRUPO LAC MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA

CONTROL DE CALIDAD

ENSAYE DE BLOQUES Y TABIQUES

Fecha de ensaye: **1 de agosto de 2020**

Fabricante: **Neublock**

Localización: **Tenango del Valle,
Estado de México.**

| Espécimen No. | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | | | | | |
|---|---------|------------|------------|---------|---------|--|--|--|--|--|
| Etiquetado | 1 raya | 1 diagonal | Sin puntos | 2 rayas | 2 rayas | | | | | |
| Peso seco (g) | 12300 | 12050 | 13950 | 11750 | 12050 | | | | | |
| Ancho (cm) | 11.5 | 11.5 | 11.5 | 11.6 | 11.6 | | | | | |
| Altura (cm) | 17.0 | 17.5 | 17.6 | 17.4 | 17.6 | | | | | |
| Largo (cm) | 37.6 | 37.7 | 37.6 | 37.6 | 37.6 | | | | | |
| Área (cm ²) | 432.40 | 433.55 | 432.40 | 436.16 | 436.16 | | | | | |
| Volumen (cm ³) | 7350.80 | 7587.13 | 7610.24 | 7589.18 | 7676.42 | | | | | |
| Peso volumétrico (ton/m ³) | 1.67 | 1.59 | 1.83 | 1.55 | 1.57 | | | | | |
| Carga máxima (kg) | 7400 | 3600 | 13600 | 5600 | 3600 | | | | | |
| Resistencia al Esfuerzo de Compresión (kg/cm ²) | 17.11 | 8.30 | 31.45 | 12.84 | 8.25 | | | | | |

Observaciones:

Téc. Andrés Hernández Castillo
Téc. Laboratorista

M. en C. Humberto Cuevas Ochoa
Director General



GRUPO LAC MECÁNICA DE SUELOS Y GEOTECNIA


CONTROL DE CALIDAD

ENSAYE DE BLOQUES Y TABIQUES

Fecha de ensaye: **3 de agosto de 2020**Fabricante: **Neublock**Localización: **Tenango del Valle,
Estado de México.**

| Especimen No. | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
|--|---------|---------|---------|----------|---------------------|---------|------------|------------|------------|----------|
| Etiquetado | 2 rayas | 1 punto | 3 rayas | 2 puntos | 3 puntos 2 rayas | 3 rayas | 1 diagonal | Sin puntos | 1 diagonal | 2 puntos |
| Peso seco (g) | 12250 | 12650 | 13280 | 11350 | 12200 | 12400 | 12400 | 12850 | 11600 | 11280 |
| Peso húmedo (g) 5 cm de absorción; 10 minutos | 12500 | 13000 | 14050 | 11540 | 12500 | 13200 | 12700 | 13450 | 12450 | 11680 |
| Peso saturado (g) Saturación total; 24 horas | 13740 | 14180 | 14650 | 12850 | 13680 | 13960 | 13750 | 14400 | 13350 | 12750 |
| Absorción inicial (%) 10 minutos | 2.04% | 2.77% | 5.80% | 1.67% | 2.46% | 6.45% | 2.42% | 4.67% | 7.33% | 3.55% |
| Absorción total (%) 24 horas | 12.16% | 12.09% | 10.32% | 13.22% | 12.13% | 12.58% | 10.89% | 12.06% | 15.09% | 13.03% |
| Ancho (cm) | 11.8 | 11.4 | 11.6 | 11.5 | 11.6 | 11.5 | 11.6 | 11.7 | 11.5 | 11.6 |
| Altura (cm) | 17.6 | 17.4 | 17.6 | 17.6 | 16.9 | 17.7 | 17.7 | 17.6 | 17.6 | 17.6 |
| Largo (cm) | 37.6 | 37.6 | 37.6 | 37.6 | 37.6 | 37.5 | 37.7 | 37.6 | 37.6 | 37.6 |
| Área (cm ²) | 443.68 | 428.64 | 436.16 | 432.40 | 436.16 | 431.25 | 437.32 | 439.92 | 432.40 | 436.16 |
| Volumen (cm ³) | 7808.77 | 7458.34 | 7676.42 | 7610.24 | 7371.10 | 7633.13 | 7740.56 | 7742.59 | 7610.24 | 7676.42 |
| Peso volumétrico (ton/m ³) | 1.57 | 1.70 | 1.73 | 1.49 | 1.66 | 1.62 | 1.60 | 1.66 | 1.52 | 1.47 |
| Carga máxima (kg) | 6000 | 6200 | 18500 | 3200 | 7000 | 5000 | 2000 | 7600 | 4000 | 3800 |
| Resistencia al Esfuerzo de Compresión (kg/cm ²) | 13.52 | 14.46 | 42.42 | 7.40 | 16.05 | 11.59 | 4.57 | 17.28 | 9.25 | 8.71 |

Observaciones:


Téc. Andrés Hernández Castillo
Téc. Laboratorista
M. en C. Humberto Cuevas Ochoa
Director General

Medición de propiedades termofísicas.

Para la realización de la medición de propiedades termofísicas de las muestras de concreto (referencia) y Neublock se utilizó un analizador de propiedades termofísicas basado en la norma ASTM D5334-14 marca Decagon Devices modelo KD2 Pro con sensor de difusividad térmica de doble aguja SH-1.

Medición de propiedades ópticas.

En el caso de la medición de reflectancia solar de las muestras se empleó un reflectómetro solar portátil de esfera integradora marca Surface Optics modelo Solar-410 basado en la norma ASTM E903, mientras que en el caso de la medición de la emitancia infrarroja se empleó un emisómetro térmico portátil de esfera integradora marca Surface Optics modelo ET-100 basado en la norma ASTM E408.



Imagen 54: Reflectómetro Solar



Imagen 55: Emisómetro infrarrojo

Resultados de pruebas de conductividad térmica y capacidad calorífica volumétrica



PRUEBA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA / CAPACIDAD CALORÍFICA

Analizador: DECAGON KD-2 PRO

Fecha: marzo 17, 2020

| REFERENCIA | | | | M1 | | | | M2 | | | |
|-----------------------|----------|------------|----------|-----------------------|----------|------------|----------|-----------------------|----------|------------|----------|
| | Valor | Desv. Tip. | Unidades | | Valor | Desv. Tip. | Unidades | | Valor | Desv. Tip. | Unidades |
| Masa | 14 | | | Masa | 12.7 | | | Masa | 12.4 | | |
| Volumen | 0.007306 | | | Volumen | 0.007587 | | | Volumen | 0.007761 | | |
| Densidad | 1916.139 | | kg/m3 | Densidad | 1674.02 | | kg/m3 | Densidad | 1597.757 | | kg/m3 |
| Conductividad térmica | 0.647 | 0.0341 | W/m-K | Conductividad térmica | 0.506 | 0.0004 | W/m-K | Conductividad térmica | 0.524 | 0.0006 | W/m-K |
| Capacidad cal. Vol. | 1.698 | 0.1630 | MJ/m3-K | Capacidad cal. Vol. | 1.647 | 0.0004 | MJ/m3-K | Capacidad cal. Vol. | 2.091 | 0.0075 | MJ/m3-K |
| Calor específico | 886.348 | | J/kg-K | Calor específico | 983.720 | | J/kg-K | Calor específico | 1308.877 | | J/kg-K |
| Emitancia térmica | 0.876 | 0.0207 | | Emitancia térmica | 0.878 | 0.0183 | | Emitancia térmica | 0.891 | 0.0187 | |
| Reflectancia solar | 0.524 | 0.0653 | | Reflectancia solar | 0.410 | 0.0406 | | Reflectancia solar | 0.403 | 0.0562 | |

| M3 | | | | M4 | | | | M5 | | | |
|-----------------------|----------|------------|----------|-----------------------|----------|------------|----------|-----------------------|----------|------------|----------|
| | Valor | Desv. Tip. | Unidades | | Valor | Desv. Tip. | Unidades | | Valor | Desv. Tip. | Unidades |
| Masa | 12.48 | | | Masa | 13.1 | | | Masa | 10.2 | | |
| Volumen | 0.007613 | | | Volumen | 0.007281 | | | Volumen | 0.008128 | | |
| Densidad | 1639.389 | | kg/m3 | Densidad | 1799.203 | | kg/m3 | Densidad | 1254.893 | | kg/m3 |
| Conductividad térmica | 0.377 | 0.0008 | W/m-K | Conductividad térmica | 0.541 | 0.0019 | W/m-K | Conductividad térmica | 0.283 | 0.0008 | W/m-K |
| Capacidad cal. Vol. | 1.093 | 0.0040 | MJ/m3-K | Capacidad cal. Vol. | 1.146 | 0.0110 | MJ/m3-K | Capacidad cal. Vol. | 1.263 | 0.0051 | MJ/m3-K |
| Calor específico | 666.508 | | J/kg-K | Calor específico | 637.152 | | J/kg-K | Calor específico | 1006.699 | | J/kg-K |
| Emitancia térmica | 0.884 | 0.0115 | | Emitancia térmica | 0.873 | 0.0278 | | Emitancia térmica | 0.881 | 0.0102 | |
| Reflectancia solar | 0.293 | 0.0249 | | Reflectancia solar | 0.409 | 0.0340 | | Reflectancia solar | 0.345 | 0.0192 | |

Diferencia de horas de frío, confort y calor entre el block de concreto convencional y el Neublock

DIFERENCIA DE HORAS BLOCK DE CONCRETO VS. NEUBLOCK

| Mes | Horas frías | Horas comodidad | Horas calientes |
|-------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| Enero | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| % | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Febrero | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| % | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Marzo | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| % | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Abril | 0.00 | 2.00 | -2.00 |
| % | 0.00 | 0.28 | -0.28 |
| Mayo | 1.00 | 8.00 | -9.00 |
| % | 0.13 | 1.08 | -1.21 |
| Junio | 0.00 | 6.00 | -6.00 |
| % | 0.00 | 0.83 | -0.83 |
| Julio | 0.00 | 6.00 | -6.00 |
| % | 0.00 | 0.81 | -0.81 |
| Agosto | -4.00 | 10.00 | -6.00 |
| % | -0.54 | 1.34 | -0.81 |
| Septiembre | 4.00 | 1.00 | -5.00 |
| % | 0.56 | 0.14 | -0.69 |
| Octubre | 5.00 | -2.00 | -3.00 |
| % | 0.67 | -0.27 | -0.40 |
| Noviembre | 4.00 | -4.00 | 0.00 |
| % | 0.56 | -0.56 | 0.00 |
| Diciembre | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| % | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ANUAL | 10.00 | 27.00 | -37.00 |
| % | 0.11 | 0.31 | -0.42 |

% ANUAL NEUBLOCK RESPECTO A BLOCK CONVENCIONAL

2.74%

7.40%

-10.14%