

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Diseño de tabicones ecológicos de concreto con la adición de residuos.

Tesis para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presenta:

Adriana Pelagio Chávez

Ingeniera Civil

Director de Tesis:

Dr. Wilfrido Martínez Molina

Co-Director de Tesis:

Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán



Morelia, Michoacán, Diciembre 2022



RESUMEN

En México se estimó que el volumen de residuos de construcción y demolición (RCD) es de 10.15 millones de toneladas para el año 2018 (28,000 Ton/día aproximadamente) (SEMARNAT, 2018), lo que ha ocasionado un problema ambiental a consecuencia de su vertido incontrolado. Los neumáticos fuera de uso (NFU) son uno de los materiales de mayor uso y fabricación por lo que también representan un problema ambiental, para la proliferación de insectos, incendios debido a su flamabilidad. Cada año en México se depositan de manera incorrecta más de 32 millones de llantas usadas, lo que representa millones de toneladas de desechos que producen contaminación visual, ambiental y perjuicios en la salud de las personas (Manejo Responsable de Llantas Usadas, A.C., 2015).

Con la finalidad de minimizar el impacto ambiental que generan los residuos de construcción y demolición (RCD) y los neumáticos fuera de uso (NFU) luego de transcurrida su vida útil y debido a que los agregados naturales son un recurso no renovable, por lo que su explotación tenderá a extinguirse en el largo plazo, surge como objetivo fundamental del presente trabajo de investigación, hacer un tabicón como opción al tabicón convencional de concreto analizando la influencia de la adición del caucho granulado proveniente de los NFU y RCD, para asegurar que estos tengan buenas cualidades para el uso que se les pretende dar, algunas prestaciones mecánicas como aislamiento térmico y sonoro, aligeramiento (densidad), buscando cumplir con la normativa correspondiente.

Para esta investigación se propuso desarrollar un diseño de mezcla para elaborar especímenes con diferentes porcentajes progresivos de RCD y caucho proveniente de NFU y los valores obtenidos se compararán contra los valores de tabicones testigo. Se realizarán pruebas tanto destructivas como no destructivas a las distintas edades.

Palabras Clave: Concreto reciclado, Agregados reciclados, residuos de construcción y demolición, caucho y neumáticos fuera de uso.



SUMMARY

In Mexico, it was estimated that the volume of construction and demolition waste (RCW) is 10.15 million tons for the year 2018 (28,000 tons / day approximately) (SEMARNAT, 2018), which has caused an environmental problem as a result of its uncontrolled dumping. End-of-life tires (WTR) are one of the most widely used and manufactured materials, which is why they also represent an environmental problem for the proliferation of insects, fires due to their flammability. Each year in Mexico, more than 32 million used tires are incorrectly deposited, representing millions of tons of waste that produces visual and environmental pollution and damages people's health (Management Responsible for Used Tires, AC, 2015).

To minimize the environmental impact generated by construction and demolition waste (RCW) and end-of-life tires (WTR) after their useful life has elapsed and since natural aggregates are a non-renewable resource. Therefore, its exploitation will tend to be extinguished in the long term. The fundamental objective of this research work is to make a block as an option to the conventional concrete block analyzing the influence of the addition of granulated rubber from the WTR and RCW, to ensure that these have good qualities for the use that is intended to give them, some mechanical benefits such as thermal and sound insulation, lightening (density), seeking to comply with the corresponding regulations. In this research, it is proposed to make a mixture design to elaborate specimens with different progressive percentages of RCW and rubber from WTR and the values obtained will be compared against the values of a control block. Both destructive and non-destructive tests will be carried out at different ages.

Key words: Recycled concrete, Recycled aggregates, construction and demolition waste, rubber and end of life tires.



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecer abismalmente a mi director de tesis, el Dr. Wilfrido Martínez Molina por el apoyo, paciencia, esfuerzo y las enseñanzas en todo momento, así como la dedicación y colaboración a lo largo del desarrollo de este proyecto. Sin sus conocimientos y constancia no lo hubiera logrado.

De igual forma quiero agradecer a la Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán por sus enseñanzas y el apoyo durante la elaboración de este trabajo ya que fue parte esencial para el desarrollo del mismo.

Agradecer también a CONACYT por el apoyo económico conferido mediante la beca, también, al laboratorio “Ing. Luis Silva Ruelas” ya que la mayor parte del trabajo se desarrolló en sus instalaciones, prestando el equipo y darme todas las facilidades para el desarrollo de la tesis y de igual manera a la UMSNH.

Agradecer profundamente al Ingeniero Francisco Osvaldo Campos Gallegos por que fue parte fundamental para el desarrollo de este proyecto, ya que nos prestó sus instalaciones de su bloquera “TABITODO” para la elaboración de los tabicones, así como de sus conocimientos en el tema.

Agradecer a todos mis compañeros laboratoristas, profesores y estudiantes del servicio social ya que fueron una parte importante para poder elaborar este proyecto de tesis, por mencionar algunos; Beto, Uriel, Kevin, Miguel, maestra Sandra, Don Chuy, gracias por todo.



DEDICATORIA

A mis Padres Irene Chávez Gallo y Salomón Pelagio Mendoza por siempre estar a mi lado incondicionalmente y ser mi motor, por siempre apoyarme y alentarme. Gracias papá por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada palabra que, aunque ya no estés, seguirán guiándome a lo largo de mi vida. Para mí son un ejemplo a seguir y que sin lugar a dudas sin ellos no estaría hasta donde he llegado.

A mis hermanos Andrea, Esteban, Edgar y Ricardo que han estado a mi lado durante gran parte de mi vida, mis compañeros desde la infancia y que hacían más amenas las noches de desvelo, y por apoyarme en todo momento.

A mi familia en general, que siempre me han apoyado en lo que han podido y por estar conmigo siempre, por sus consejos, apoyo y amistad.

A mis amigos, que son una parte importante para mí como persona, por su amistad incondicional, muchas gracias.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Residuos de Construcción y demolición (RCD).....	4
2.1.1. Origen de los RCD.....	5
2.1.2. Composición de los RCD.....	6
2.1.3. Generación de los RCD.....	7
2.1.4. Clasificación de los RCD.....	11
2.2. Neumáticos Fuera de Uso (NFU).....	15
2.2.1. Partes del neumático.	16
2.2.2. Composición de los Neumáticos.	17
2.2.3. Generación de los NFU.	19
3. ESTADO DEL ARTE.	20
3.1. Primeros Estudios con agregados reciclados.....	20
3.2. Gestión de los RCD.....	20
3.3. Gestión de los Residuos de llanta provenientes de NFU.....	24
3.3.1. Reusar.....	25
3.3.2. Reciclar.....	26
3.3.3. Reducir.	27
3.4. Agregados de RCD y partículas de caucho en bloques de concreto.....	27
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	30
4.1. Enunciado del problema.	32
5. JUSTIFICACIÓN.....	33



6. OBJETIVOS.....	35
6.1 Objetivo General.....	35
6.2 Objetivos Específicos.....	35
7. HIPÓTESIS.....	36
8. METODOLOGÍA.....	37
8.1 Fase I. Recopilación de la información.....	37
a) Investigación documental.....	37
a) Investigación de campo.....	37
8.2 Fase II. Programa Experimental.....	38
8.3 Fase III. Análisis de Resultados.....	39
8.4 Pruebas a realizar en los materiales.....	39
8.4.1 Balastre.....	39
8.4.1.1 Prueba de humedad de absorción (NMX-C-165-ONNCCE-2014).....	39
8.4.1.2 Gravedad específica o densidad relativa saturada (NMX-C-165-ONNCCE-2014). 39	39
8.4.1.3 Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) (NMX-C-073-ONNCCE-2004).	39
8.4.1.4 Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) NMX-C-073-ONNCCE-2004).	39
8.4.1.5 Granulometría o análisis granulométrico (NMX-C-077-1997-ONNCCE). 39	39
Sedimentación en agregado fino (Navarro et al, 2011).	39
8.4.2 Sello.....	39
8.4.2.1 Prueba de humedad de absorción (NMX-C-164-ONNCCE-2014).....	40
8.4.2.2 Gravedad específica o densidad relativa saturada (NMX-C-164-ONNCCE-2014). 40	40



8.4.2.3.	Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) (NMX-C-073-ONNCCE-2004).	40
8.4.2.4.	Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) (NMX-C-073-ONNCCE-2004).	40
8.4.2.5.	Granulometría o análisis granulométrico (NMX-C-077-1997-ONNCCE).	40
8.4.3.	Residuos de Construcción y Demolición (RCD).	40
8.4.3.1.	Prueba de humedad de absorción (NMX-C-164-ONNCCE-2014).	40
8.4.3.2.	Gravedad específica o densidad relativa saturada (NMX-C-164-ONNCCE-2014).	40
8.4.3.3.	Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) (NMX-C-073-ONNCCE-2004).	40
8.4.3.4.	Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) ((NMX-C-073-ONNCCE-2004).	40
8.4.3.5.	Granulometría o análisis granulométrico (NMX-C-077-1997-ONNCCE).	40
8.4.4.	Residuos de llanta.	40
8.4.5.	Cemento.	41
8.4.5.1.	Consistencia normal del cemento (NMX-C-057-ONNCCE-2015).	41
8.4.5.2.	Método de Gillmore para determinar los tiempos de fraguado (Navarro et al, 2011).	41
8.4.5.3.	Densidad del cemento hidráulico (NMX-C-152-ONNCCE-2015).	41
8.5.	Diseño de mezclas.	42
8.5.1.	Tabicones testigo.	43
8.5.2.	Tabicones con sustitución de RCD.	43
8.5.3.	Tabicones con sustitución de caucho.	45
8.5.4.	Tabicones con sustitución de RCD más caucho.	46



8.6. Cuarta etapa (IV): Elaboración de los bloques.	46
8.7. Quinta etapa (V): Pruebas a los tabicones.	53
8.7.1. Resistencia a la compresión (NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NMX-C-441-ONNCCE-2013).	53
8.7.2. Mecanismo de falla de los tabicones (NMX-C-464-ONNCCE-2010).	53
8.7.3. Humedad Actual (NMX-C-037-ONNCCE-2013).	53
8.7.4. Absorción total en tabicones (NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012).	53
8.7.5. Módulo de Ruptura (MR).	53
8.7.6. Resistividad eléctrica (NMX-C-514-ONNCCE-2016).	53
8.7.7. Módulo de Elasticidad en Cilindros.	53
9. RESULTADOS.	54
9.1. Pruebas a los materiales estudiados en la etapa II.	54
9.1.1.1. Prueba de humedad de absorción.	54
9.1.1.2. Gravedad específica o densidad relativa saturada.	55
9.1.1.3. Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS).	56
9.1.1.4. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC).	57
9.1.1.5. Granulometría o análisis granulométrico.	58
9.1.2. Pruebas realizadas al Sello.	60
9.1.2.1. Prueba de humedad de absorción.	60
9.1.2.2. Gravedad específica o densidad relativa saturada.	61
9.1.2.3. Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS).	62
9.1.2.4. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC).	63
9.1.2.5. Granulometría o análisis granulométrico.	64
9.1.3. Pruebas realizadas a los Residuos de Construcción y Demolición (RCD):	66



9.1.3.1.	Prueba de humedad de absorción.....	66
9.1.3.2.	Gravedad específica o densidad relativa saturada.....	67
9.1.3.3.	Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS).	68
9.1.3.4.	Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC).	69
9.1.3.5.	Granulometría o análisis granulométrico.	70
9.1.4.	Cemento.	72
9.1.4.1.	Consistencia normal del cemento.....	72
9.1.4.2.	Método de Gillmore para determinar los tiempos de fraguado.	73
9.1.4.3.	Densidad del cemento hidráulico.	74
9.1.5.	Parámetros revisados en el agua.	75
9.2.	Quinta etapa (V): Pruebas a los bloques.	78
9.2.1.	Resistencia a la compresión.	78
9.2.1.1.	Resultados de compresión simple.	81
9.2.1.2.	Comparativa de compresión simple entre tabicones testigo y tabicones reciclados.	87
9.2.2.	Mecanismo de falla de tabicones sujetos a compresión.	88
9.2.3.	Humedad Actual.	92
9.2.4.	Absorción total en tabicones.....	93
9.2.4.1.	Comparativa de humedad de absorción entre tabicones testigo y tabicones reciclados.	100
9.2.5.	Flexión Estática.....	101
9.2.5.1.	Comparativa de flexión estática entre tabicones testigo y tabicones reciclados.	105
9.2.6.	Resistividad Eléctrica.....	106
9.2.6.1.	Comparativa de Resistividad eléctrica entre tabicones testigo y tabicones reciclados.	109



9.2.7. Módulo de elasticidad Estático.....	110
9.2.7.1. Comparativa de Módulo de elasticidad entre tabicones testigo y tabicones reciclados.....	127
9.2.8. Análisis económico de cada diseño.....	128
9.2.8.2. Primer Análisis económico.....	128
9.2.8.1. Costo Directo para la mezcla testigo.....	129
9.2.8.2. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 15% RCD.....	130
9.2.8.3. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 30% RCD.....	131
9.2.8.4. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 50% RCD.....	133
9.2.8.5. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 100% RCD.....	134
9.2.8.6. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 5% caucho.....	135
9.2.8.7. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 10% caucho.....	136
9.2.8.8. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 20% caucho.....	138
9.2.8.9. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 50% RCD+5% caucho.	139
9.2.8.10. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 50% RCD+10% caucho.	140
9.2.8.11. Comparativa del Costo Directo de los tabicones testigo y tabicones reciclados.....	142
9.2.8.3. Segundo Análisis económico.....	143
9.2.8.12. Comparativa del Costo Directo de los tabicones testigo y tabicones reciclados considerando el consto del flete.....	149
10. CONCLUSIONES.....	151
11. BIBLIOGRAFÍA.....	154



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimación de la Generación de Residuos de la Construcción en el 2018 para México, incluye obra pública y privada.	8
Tabla 2. Categoría y requerimientos ambientales de los generadores, prestadores de servicio de transporte, centros de reciclaje y sitios de disposición final autorizados para el manejo de residuos de la construcción y demolición.	9
Tabla 3. Composición típica porcentual por componentes de los NFU.*Vehículos.	18
Tabla 4. Composición química elemental de un NFU*Hidrógeno. Oxígeno,	18
Tabla 5. Proporcionamiento para los tabicones convencionales testigo.	43
Tabla 6. Proporcionamiento con el 15% de sustitución en peso de RCD por sello.	43
Tabla 7. Proporcionamiento con el 30% de sustitución en peso de RCD por sello.	44
Tabla 8. Proporcionamiento con el 50% de sustitución en peso de RCD por sello.	44
Tabla 9. Proporcionamiento con el 100% de sustitución en peso de RCD por sello.	44
Tabla 10. Proporcionamiento con el 5% de sustitución en peso de residuos de llanta por balastre. 45	
Tabla 11. Proporcionamiento con el 10% de sustitución en peso de residuos de llanta por balastre.	45
Tabla 12. Proporcionamiento con el 20% de sustitución en peso de residuos de llanta por balastre.	45
Tabla 13. Proporcionamiento con el 50% de sustitución en peso de RCD y 5% de caucho por sello.	46
Tabla 14. Proporcionamiento con el 50% de sustitución en peso de RCD y 10% de caucho por sello.	46
Tabla 15. Absorción y humedad del agregado natural.	55
Tabla 16. Gravedad específica o densidad relativa saturada.	56



Tabla 17. Gravedad específica o densidad relativa saturada del balastre.....	57
Tabla 18. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) del balastre.	58
Tabla 19. Granulometría o análisis granulométrico del balastre.	59
Tabla 20. Prueba de humedad de absorción del sello.....	61
Tabla 21. Tipos de absorción y sus valores.	61
Tabla 22. Gravedad específica o densidad relativa saturada del sello.....	62
Tabla 23. Gravedad específica o densidad relativa saturada del sello.....	63
Tabla 24. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) del sello.....	64
Tabla 25. Granulometría o análisis granulométrico del sello.	65
Tabla 26. Prueba de humedad de absorción de los RCD.	67
Tabla 27. Tipos de absorción y sus valores.	67
Tabla 28. Gravedad específica o densidad relativa saturada de los RCD.	68
Tabla 29. Gravedad específica o densidad relativa saturada de los RCD.	69
Tabla 30. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) de los RCD.....	70
Tabla 31. Granulometría o análisis granulométrico de los RCD.....	71
Tabla 32. Consistencia normal del cemento.	72
Tabla 33. Tiempos de fraguado del cemento.....	73
Tabla 34. Tiempos de fraguado del cemento.....	75
Tabla 35. Parámetros analizados en el agua.	76
Tabla 36. Promedios del ensaye a compresión de tabicones testigo a los 7, 14, 28 y 180 días.81	
Tabla 37. Promedios del ensay a compresión de tabicones con sustitución de RCD por sello a los 7, 14, 28 y 180 días.	81
Tabla 38. Promedios compresión de tabicones con sustitución de Caucho por balastre a los 7, 14, 28, 90 y 120 días.....	82
Tabla 39. Promedios compresión de tabicones con sustitución de Caucho por balastre a los 7, 14, 28, 90 y 120 días.....	82



Tabla 40. Promedios de humedad actual de tabicones con sustitución de RCD	93
Tabla 41. Promedios de absorción de tabicones testigo	95
Tabla 42. Promedios de absorción de tabicones con sustitución de RCD,.....	95
Tabla 43. Promedios de absorción de tabicones con sustitución de Caucho.....	96
Tabla 44. Promedios de absorción de tabicones con sustitución de RCD + Caucho.	96
Tabla 45. Promedios de MR de las mezclas de tabicón.	104
Tabla 46. Resultados promedios de Resistividad eléctrica.....	108
Tabla 47. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla testigo a los 7 días.....	112
Tabla 48. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla testigo a los 14 días.....	113
Tabla 49. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla testigo a los 28 días.....	114
Tabla 50. Resultados promedio ensaye módulo de elasticidad mezcla testigo a los 7, 14 y 28 días. 116	
Tabla 51. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD a los 7 días.....	116
Tabla 52. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD a los 14 días.....	117
Tabla 53. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD a los 28 días.....	118
Tabla 54. Resultados promedio ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD a los 7, 14 y 28 días. 119	
Tabla 55. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 7 días. 120	
Tabla 56. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 14 días. 121	
Tabla 57. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 28 días. 122	
Tabla 58. Resultados promedio ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 7, 14 y 28 días.	123



Tabla 59. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 7 días. 124	
Tabla 60. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 14 días. 125	
Tabla 61. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 28 días. 125	
Tabla 62. Resultados promedio ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 7, 14 y 28 días. 126	
Tabla 63. Volumen de agregados mezcla testigo. 129	
Tabla 64. Análisis de Costo Directo para la muestra testigo. 130	
Tabla 65. Volumen de agregados mezcla 15% RCD. 130	
Tabla 66. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 15% RCD. 131	
Tabla 67. Volumen de agregados mezcla 30% RCD. 132	
Tabla 68. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 30% RCD. 132	
Tabla 69. Volumen de agregados mezcla 50% RCD. 133	
Tabla 70. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD. 133	
Tabla 71. Volumen de agregados mezcla 100% RCD. 134	
Tabla 72. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 100% RCD. 134	
Tabla 73. Volumen de agregados mezcla 5% caucho. 135	
Tabla 74. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 5% caucho. 136	
Tabla 75. Volumen de agregados mezcla 10% caucho. 137	
Tabla 76. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 10% caucho. 137	
Tabla 77. Volumen de agregados mezcla 20% caucho. 138	
Tabla 78. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 20% caucho. 138	
Tabla 79. Volumen de agregados mezcla 50% RCD+5% caucho. 139	



Tabla 80. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD+5% caucho.	139
Tabla 81. Volumen de agregados mezcla 50% RCD+10% caucho.	140
Tabla 82. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD+10% caucho.	141
Tabla 83. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 15% RCD +FLETE	143
Tabla 84. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 30% RCD +FLETE.	144
Tabla 85. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD +FLETE.	145
Tabla 86. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 100% RCD +FLETE.	146
Tabla 87. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD+5% caucho +FLETE.	147
Tabla 88. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD+10% caucho +FLETE.	148



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición de los RCD.....	6
Figura 2. Partes Principales de un Neumático.....	16
Figura 3. Programa experimental.	38
Figura 4. Diagrama de las etapas del diseño de mezclas.....	43
Figura 5. Pesaje de los materiales.....	47
Figura 6. Mezcladora.....	48
Figura 7. Compuerta de la mezcladora.....	48
Figura 8. Consistencia adecuada de la mezcla.	49
Figura 9. Compuerta abierta.....	49
Figura 10. Vaciado con pala para albañilería.....	50
Figura 11. Acomodo de la mezcla en los moldes.....	50
Figura 12. Vibrado y acabado de los tabicones con máquina bloquera.....	50
Figura 13. Retiro del molde en tabicones.....	51
Figura 14. Tabicones acomodados en la tarima.....	51
Figura 15. Transporte de los tabicones.....	51
Figura 16. Secado de los tabicones.....	52
Figura 17. Curado de los tabicones.....	52
Figura 18. Curva granulométrica del balastre.....	59
Figura 19. Curva granulométrica del sello.....	65
Figura 20. Curva granulométrica de los RCD.....	71
Figura 21. Pesaje de materiales para cabeceo.....	79
Figura 22. Secado del cabeceo de las muestras de tabicón.....	79



Figura 23. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-RCD.....	83
Figura 24. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-RCD en porcentaje.....	84
Figura 25. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-Caucho.....	85
Figura 26. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-Caucho en porcentaje.....	85
Figura 27. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-RCD+Caucho.	86
Figura 28. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-RCD+Caucho en porcentaje.	86
Figura 29. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión de todas las mezclas.	87
Figura 30. Falla por agrietamiento vertical.	88
Figura 31. Falla cónica (piramidal) o Falla por cortante.	89
Figura 32. Aplastamiento local.....	89
Figura 33. Falla por flexión.....	89
Figura 34. Falla explosiva.	90
Figura 35. Mecanismo de falla de los tabicones elaborados con RCD.	90
Figura 36. Mecanismo de falla de los tabicones elaborados con caucho.	91
Figura 37. Mecanismo de falla de los tabicones elaborados con RCD+caucho.....	92
Figura 38. Muestras colocadas en el horno para el ensaye de absorción.	93
Figura 39. Pesaje de las muestras de tabicón para determinar su masa.....	94
Figura 40. Sumersión del tabicón.....	94
Figura 41. Comparativa de resultados del ensaye de absorción total en 24h en mezclas testigo-RCD.....	97



Figura 42. Comparativa de resultados del ensaye de absorción total en 24h en mezclas testigo-Caucho.....	98
Figura 43. Comparativa de resultados del ensaye de absorción total en 24h en mezclas testigo-RCD+Caucho.	99
Figura 44. Comparativa de resultados del ensaye de absorción total en 24 horas de todas las mezclas en porcentaje.....	100
Figura 45. Muestras de tabicón para flexión estática.	102
Figura 46. Preparación de la muestra para el ensaye flexión estática.	102
Figura 47. Ensaye de Flexión estática para determinación del MR de tabicones elaborados con RCD.....	103
Figura 48. Ensaye de Flexión estática para determinación del MR de tabicones elaborados con caucho.....	103
Figura 49. Ensaye de Flexión estática para determinación del MR de tabicones elaborados con RCD + caucho.	104
Figura 50. Comparativa de resultados del ensaye de MR de todas las mezclas.....	105
Figura 51. Muestras de tabicón para resistividad eléctrica.....	106
Figura 52. Preparación de muestras de tabicón para resistividad eléctrica.	107
Figura 53. Muestras de tabicón para resistividad eléctrica.....	107
Figura 54. Resistómetro para obtener la resistencia eléctrica (Ohms).	107
Figura 55. Comparativa de resultados del ensaye de Resistividad eléctrica de todas las mezclas. 109	
Figura 56. Grafica esfuerzo – deformación mezcla testigo a los 7 días.	113
Figura 57. Grafica esfuerzo – deformación mezcla testigo a los 14 días.	114
Figura 58. Grafica esfuerzo – deformación mezcla testigo a los 28 días.	115
Figura 59. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD a los 7 días.	117
Figura 60. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD a los 14 días.	118



Figura 61. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD a los 28 días.	119
Figura 62. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 7 días.	121
Figura 63. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 14 días. ...	122
Figura 64. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 28 días. ...	123
Figura 65. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 7 días. ...	124
Figura 66. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 14 días. .	125
Figura 67. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 28 días. .	126
Figura 68. Comparativa de resultados del ensaye de Resistividad eléctrica de todas las mezclas. 127	
Figura 69. Comparativa de análisis económico de todas las mezclas.	142
Figura 70. Comparativa de análisis económico de todas las mezclas considerando un costo adicional por flete.	149



1. INTRODUCCIÓN.

La generación de residuos es uno de los principales problemas ambientales provocados en primera instancia por la humanidad, ocasionando un gran impacto sobre a la calidad del medio ambiente, los ecosistemas, la salud y la sobre explotación de los recursos naturales, lo cual se debe principalmente al crecimiento poblacional, industrialización, el consumismo, la falta de conciencia y educación ambiental, desconocimiento, obsolescencia programada, carencia de sistemas de tratamiento y eliminación de residuos, etc.

Actualmente, la industria de la construcción es un importante sector para la prosperidad de cualquier país o región ya que proporciona todo tipo de infraestructura a la sociedad que a su vez mejora la calidad de vida, pero consumiendo así, una gran cantidad de materiales. Este sector emplea diferentes técnicas de construcción para aprovechar los recursos que se encuentran a su alrededor, promoviendo técnicas constructivas que se rijan por la sustentabilidad.

La sustentabilidad es en realidad “un proceso” que tiene por objetivo encontrar el equilibrio entre el medio ambiente y el uso de los recursos naturales. La humanidad en su paso por el planeta ha degradado los recursos naturales de tal forma que actualmente es necesario procurar y planear concienzudamente el consumo de los mismos para garantizar su existencia en las generaciones futuras, (Smartia Group, 2013).

Para ello se buscan materiales de construcción sostenibles, que permitan elementos constructivos térmicamente eficientes y que al mismo tiempo no requieran grandes cantidades de energía y de recursos en su proceso de fabricación, construcción o demolición (Goodhew y Griffiths 2005, citados por Richardson, 2013).

La expansión global de la urbanización alcanzó el 54.3% en 2016 (Ángel, 2012; Roser, 2019) y hoy la tasa de urbanización ha alcanzado el 55% a nivel mundial (ONU, 2018). Esta



tasa está dando lugar a una generación excesiva de residuos de construcción y demolición (CD) (Ye y Yuan, 2014). Por esta razón los residuos de construcción y demolición son una buena alternativa para lidiar con este problema para diseñar materiales que sean amigables con el medio ambiente. La Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción estimó que sólo el 4% de los RCD que se generan, son aprovechados (3% reciclaje y 1% reúso) aproximadamente (2018). Otro gran problema de estos residuos es la disposición sin separación ni tratamiento, frecuentemente en sitios clandestinos, de una mezcla de material de excavación, restos de ladrillo, azulejos, mortero, concreto, yeso, madera, plásticos, solventes y restos de pintura, metales y otros materiales utilizados en los procesos constructivos de obras, generan un impacto ambiental relevante. A consecuencia del manejo inadecuado de los RCD, principalmente en la disposición final, se han identificado diversos problemas ambientales, de imagen urbana y salud, destacando los siguientes: obstrucción de arroyos, cañadas y barrancas, afectación al drenaje natural, afectación al medio físico y medio biótico (flora y fauna), proliferación de polvo (contaminación del aire) que provoca enfermedades respiratorias, proliferación de fauna nociva, por mencionar algunas.

Otra gran problemática es la masiva fabricación de neumáticos y la gran dificultad para gestionarlos, que constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Los neumáticos entran dentro de la industria hulera la cual se compone de 3 sectores: hule natural y sintético, neumáticos y productos de hule. Pero el segmento de los neumáticos representa tres cuartas parte del total del uso del hule (Manejo Responsable de Llantas Usadas, A.C., 2015). Los cuales se componen de la mezcla de uno o más tipos de hule con aditivos como el negro de humo, aceite, antioxidantes, catalizadores, plastificantes, pigmentos, aceleradores y rellenos. Cada año en México se depositan de manera incorrecta más de 32 millones de llantas usadas, lo que representa millones de toneladas de desechos que producen contaminación visual, ambiental y perjuicios en la salud de las personas (Manejo Responsable de Llantas Usadas, A.C., 2015).

Con la finalidad de minimizar el impacto ambiental que generan los residuos de construcción y demolición (RCD) y el caucho proveniente de los neumáticos fuera de uso (NFU) luego de transcurrida su vida útil y debido a que los agregados naturales son un recurso no



renovable, por lo que su explotación tenderá a extinguirse en el largo plazo, surge como objetivo fundamental del presente trabajo de investigación, hacer un tabicón modificado como opción al tabicón convencional de concreto.



2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Residuos de Construcción y demolición (RCD).

La Ley general para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR, 2018), define a un residuo como un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

La norma mexicana NADF-007-RNAT-2013 define a los Residuos de la construcción y demolición (RCD) como materiales, productos o subproductos generados durante las actividades de demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción tanto pública como privada; así como el producto proveniente de la excavación cuando este se haya alterado en sus condiciones físicas, químicas y biológicas originales.

Los desechos de construcción y demolición (RCD) son "escombros generados en edificios, concreto, acero, madera, escombros, tierra y una composición de materiales generados a partir de diversas actividades en los sitios de construcción, incluida la excavación de tierra, la construcción de estructuras y edificios, la limpieza del sitio de construcción, actividades relacionadas con demolición, obras viales y rehabilitación de edificios", (Shen et al.,2004).

La Ley general para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR, 2018), clasifica a los residuos de la construcción (RC) como Residuos de Manejo Especial (RME) y los define como, aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.



2.1.1. Origen de los RCD.

Actualmente el crecimiento poblacional y la demanda de infraestructura para cubrir las necesidades de la población han ocasionado la construcción, demolición y remodelación de vivienda e infraestructura. La cuantificación del volumen de producción y composición de los residuos de la construcción (RC) se enfrenta al problema de la falta de datos fiables, lo que ha obligado hasta el momento a manejar estimaciones efectuadas a través de cálculos indirectos o basadas en muestras de limitada representatividad. Los residuos generados por actividades asociadas a la construcción (RC) están constituidos generalmente por un conjunto de fragmentos de piedras, tierra, concreto, morteros, madera, alambre, plásticos, yeso, cal, cerámica, tejados, pisos, etc. (Martínez, Del Valle y González). Adicionalmente, los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) se encuentran dispuestos en cualquier lugar: terrenos baldíos a las orillas de carreteras, barrancos, pantanos, o donde puedan servir para nivelar o ganar terreno en zonas irregulares (SEMARNAT,2020).

El origen de los residuos de construcción y demolición (RCD) tal y como su nombre lo indica, provienen de la construcción y demolición de edificios e infraestructura, rehabilitación y restauración de edificios y estructuras existentes; construcción de nuevos edificios y estructuras; así como de la producción de materiales de construcción. No obstante, su composición varía en cuanto a cantidad, composición y potencial de recuperación, ya que los residuos de construcción (originados en construcciones nuevas) están menos mezclados, menos contaminados y su potencial de recuperación es más alto que los residuos originados de la demolición y la rehabilitación porque estos vienen más mezclados y en ocasiones se encuentran contaminados y por lo tanto es más difícil su recuperación (Comisión Europea, 2011).

Una fuente de generación de RCD muy relevante, son los fenómenos naturales, cuya frecuencia por razones relacionadas con el cambio climático se ve incrementada (CMIC, 2013).

El sector de la construcción y edificación puede dividirse de acuerdo con el objeto del tipo de construcción en:

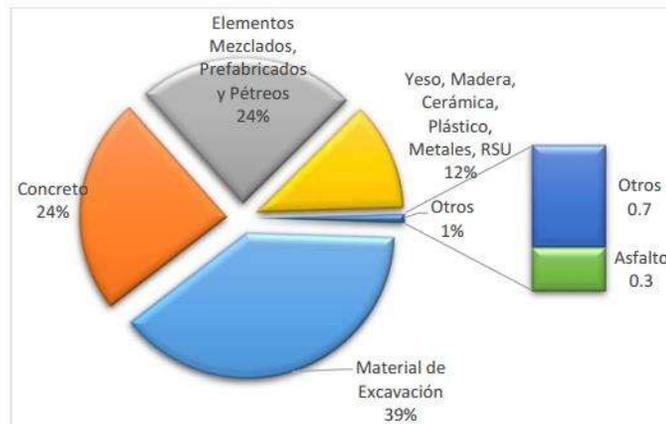
- ❖ Sector de la edificación: viviendas y edificios utilitarios que incluyen la construcción, mantenimiento y renovación de viviendas, oficinas y edificios industriales y similares.
- ❖ Sector de infraestructura: construcción de carreteras y otras infraestructuras especiales como puentes, túneles o canales.

2.1.2. Composición de los RCD.

La composición de los RCD, varía según el tipo de edificación o infraestructura de que se trate y refleja en sus componentes mayoritarios, el tipo y distribución porcentual de las materias primas que utiliza el sector de la construcción, si bien hay que tener en cuenta que éstas pueden variar acorde a la disponibilidad de los mismos y los hábitos constructivos. Los materiales minoritarios dependen en cambio, de un número de factores mucho más amplio como pueden ser el clima del lugar, el poder adquisitivo de la población, los usos dados al edificio (Martínez et al., 2015).

En la figura 1 se muestra el porcentaje de la composición de los residuos de construcción en la generación total. Los residuos provenientes del material de excavación, de concreto y de prefabricados son los que representan el porcentaje predominante de la generación con el 87% del total de los RCD.

Figura 1. Composición de los RCD.



Fuente: (Aguilar, 2017), elaborada con datos de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, 2018.



2.1.3. Generación de los RCD.

En la actualidad México no cuenta con cifras exactas sobre la generación de residuos de la construcción, ni una metodología para realizar estudios de campo correspondientes; los datos sobre las tasas de generación y recuperación son difíciles de estimar pues no todos los países consideran las mismas categorías de clasificación (Martínez e Imelda, 2013).

La Ciudad de México es la entidad federativa con mayor cantidad de información y con una planta de reciclaje registrada. Por ello se reporta de manera directa la información que la empresa Concretos Reciclados ha recibido y procesado en el periodo 2012–2018. (SEMARNAT, 2018).

Además, la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), elaboró una estimación de la generación nacional para 2018 basada en valores de producción para seis tipos de obras de los sectores: a) agua; b) riego y saneamiento; c) electricidad y comunicaciones; d) transporte; e) petróleo y petroquímica; f) otras obras en base a información estadística (INEGI, 2018).

Cabe mencionar que el parámetro de generación de residuos dependerá del tipo de obra del que se trate y está sujeto a la optimización en el empleo de los materiales, puede reducirse a un 4% promedio, valor utilizado para la estimación y cuyos resultados se muestran en la Tabla 2 y que muestra lo siguiente:

- ❖ La generación total estimada de residuos de la construcción para 2018 es de 10.15 millones de toneladas.
- ❖ El sector que más residuos generó fue el de transporte y urbanización con 3.8 millones de toneladas, con un porcentaje de 38.2% de la generación total.
- ❖ Se generaron más residuos por parte de la inversión en obra pública que en obra privada con 56.76% del total de residuos generados.



- ❖ Dentro de la inversión en obra pública el sub sector que más residuos generó fue el de carreteras, caminos y puentes con 1.8 millones de toneladas, lo que representa el 32% del total de la generación de residuos por parte de la obra pública.
- ❖ En la inversión de obra privada el sub sector que generó más residuos fue el de instalaciones para edificaciones con 0.9 millones de toneladas, lo que representa el 20% de la generación de residuos generados por la inversión en obra privada.

Tabla 1. Estimación de la Generación de Residuos de la Construcción en el 2018 para México, incluye obra pública y privada.

TIPO DE OBRA	GENERACIÓN EN (TON)	PO R DENTAGE DE GENERACIÓN
Edificación	1,593,512.64	16%
Agua, riego y saneamiento	900,576.75	9%
Electricidad y telecomunicaciones	536,280.50	5%
Transporte y urbanización	3,880,234.01	38%
Petróleo y petroquímica	1,049,782.31	10%
Otras construcciones	2,192,936.43	22%
Total	10,153,322.63	100%

Fuente: Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, 2018.

De acuerdo con la normativa ambiental NADF-007-RNAT-2013, queda estrictamente prohibido descargar, depositar o disponer residuos de la construcción y demolición en lugares distintos a los centros de acopio, centros de reciclaje o sitios de disposición final autorizados. A continuación, se presenta la clasificación de los generadores de RCD.



Tabla 2. Categoría y requerimientos ambientales de los generadores, prestadores de servicio de transporte, centros de reciclaje y sitios de disposición final autorizados para el manejo de residuos de la construcción y demolición.

VOLUMEN DE GENERACIÓN	GENERADOR	PRESTADOR DE SERVICIOS (DE TRANSPORTE)	CENTRO DE ACOPIO	CENTROS DE RECICLAJE Y SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL AUTORIZADOS
Hasta 3m³	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dar aviso a la delegación del inicio de obra. 2. Contar con responsiva de entrega a centros de acopio, reciclaje o sitios de disposición final autorizados. 3. En caso de contratar a un prestador de servicios de transporte autorizado le deberá solicitar manifiesto entrega-recepción. 	Contar con manifiesto de entrega-recepción.	Contar con manifiesto de entrega-recepción.	Contar con manifiesto de entrega-recepción.
	1. Dar aviso a la delegación del	Contar con manifiesto de	Contar con manifiesto	Contar con manifiesto de



<p>Más de 3 y hasta 7m³</p>	<p>inicio de obra y cumplir con lo indicado en el programa delegacional en la materia.</p> <p>2. Contar con responsiva de entrega a centros de acopio, reciclaje o sitios de disposición final autorizados.</p> <p>3. En caso de contratar a un prestador de servicios de transporte autorizado le deberá solicitar manifiesto entrega-recepción.</p>	<p>entrega-recepción.</p>	<p>de entrega-recepción.</p>	<p>entrega-recepción.</p>
<p>Más de 7m³</p>	<p>1. Contar con un plan de manejo propio autorizado y en su caso con la autorización en materia de impacto ambiental.</p> <p>2. En caso de contratar a un</p>	<p>Contar con manifiesto de entrega-recepción.</p>	<p>Contar con manifiesto de entrega-recepción.</p>	<p>Contar con manifiesto de entrega-recepción.</p>



	prestador de servicios de transporte este debe ser autorizado; 3. Contar con manifiesto entrega-recepción.			
--	---	--	--	--

Fuente: Norma ambiental NADF-007-RNAT-2013.

2.1.4. Clasificación de los RCD.

En cuanto a la clasificación según CMIC (2018) se incluye una gran cantidad de materiales, entre los que se encuentran residuos cerámicos, ladrillos, madera, concreto, mortero y algunos otros en menor cantidad como son el plástico, vidrio, acero, RSU, papel y cartón. A continuación, se describen algunas clasificaciones:

a. Clasificación de los residuos según su origen en (Santos et al, 2013):

Los RCD, según su origen, se clasifican en:

- ❖ Residuos procedentes de puntos de extracción de áridos o puntos de la obra donde se realicen movimientos de tierras puros, sin intervenir ningún otro tipo de actividad constructiva.
- ❖ Residuos procedentes de obras de construcción.
- ❖ Residuos procedentes de obras de demolición.

Cada uno de estos tipos presenta distintas características:

Residuos procedentes de los puntos de extracción o de movimientos de tierras puros: Son residuos compuestos íntegramente por materiales de origen pétreo, de naturaleza y



granulometría variable. Son residuos limpios de cualquier contaminación por parte de otras sustancias de obra.

Residuos de construcción: Son residuos fundamentalmente de origen pétreo y cerámico (aproximadamente el 75%) con una presencia importante de otros materiales. En la fracción pétreo (los escombros) se encuentran fundamentalmente restos de hormigón y cerámicos procedentes de recortes o materiales rotos.

El 25% restante está compuesto por una mezcla heterogénea de residuos que va desde el vidrio, la madera y el papel hasta los residuos más peligrosos, compuestos por sustancias tóxicas o contaminantes, como disolvente y pinturas o algunos metales (como el plomo). Entre estos residuos heterogéneos se halla una importante fracción de plásticos y papeles procedentes de los embalajes de los materiales de la obra.

Residuos de demolición: Son residuos similares a los residuos de construcción en sus proporciones entre escombros (residuos de hormigón y cerámicos) y otro tipo de residuos.

b. Clasificación, según Santos et. al. (2013) de los residuos según su naturaleza en:

Además de la clasificación por su origen, los residuos se clasifican por su naturaleza, muy relacionada con su procedencia.

Según su naturaleza, los residuos son:

- ❖ Residuos inertes.
- ❖ Residuos no peligrosos.
- ❖ Residuos tóxicos y peligrosos.

Residuos inertes: Son residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas de consideración. Entre estos residuos no se encuentran materiales solubles, combustibles, biodegradables o que reaccionan física o químicamente con otras sustancias; no perjudican a la salud humana ni contaminan el medio ambiente. Son los residuos



que comúnmente se llaman “escombros”. Son residuos inertes los restos de hormigón, los ladrillos, las tejas, el vidrio y cualquier tipo de tierra o canto.

Residuos no peligrosos: No presentan problemas de toxicidad en sí mismos, pero pueden sufrir o producir en otras sustancias modificaciones físicas, químicas o biológicas que den lugar a sustancias perjudiciales para el ser humano o contaminantes para el medio ambiente. Son residuos no peligrosos la madera, algunos plásticos, el papel, el yeso, los textiles y la mayor parte de los metales.

Residuos tóxicos y peligrosos: Contiene sustancias peligrosas o tóxicas para el ser humano o contaminantes para el medio ambiente. Están recogidos y clasificados en la legislación y su traslado y manipulación corre a cargo de gestores autorizados. Son residuos peligrosos las pinturas y los disolventes (incluidos los envases), el plomo, el amianto y sus derivados y los residuos radioactivos.

c. Clasificación de los residuos según la norma NADF-007-RNAT-2013:

Para el caso de México y de acuerdo a la norma ambiental del Distrito Federal NADF-007-RNAT-2013, que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición, publicada en la gaceta oficial del Distrito Federal, clasifica los RCD de la siguiente manera:

A. Provenientes de concretos hidráulicos y morteros.

- ❖ Elementos prefabricados
- ❖ Elementos estructurales y no estructurales
- ❖ Sobrantes de concreto en obra y premezclado

B. Mezclados.

- ❖ Concretos hidráulicos
- ❖ Morteros



- ❖ Blocks
- ❖ Tabicones
- ❖ Adoquines
- ❖ Tubos de albañil
- ❖ Cerámicos
- ❖ Mamposterías
- ❖ Prefabricados de arcilla recocida (Tabiques, ladrillos, etc.)
- ❖ Piedra braza
- ❖ Agregados pétreos

C. Provenientes de fresado de concreto asfáltico.

- ❖ Carpeta asfáltica Bases asfálticas o negras.
- ❖ Bases negras

D. Residuos de excavación.

- ❖ Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.

E. Residuos sólidos urbanos.

- ❖ Papel y Cartón
- ❖ Madera
- ❖ Metales
- ❖ Plástico
- ❖ Residuos de podas, tala y jardinería.
- ❖ Vidrio
- ❖ Papel y Cartón
- ❖ Madera

F. Otros.

- ❖ Residuos de Impermeabilizantes, Tablaroca, instalaciones eléctricas, asbesto, tubería, herrería, lodos bentoníticos.



2.2. Neumáticos Fuera de Uso (NFU).

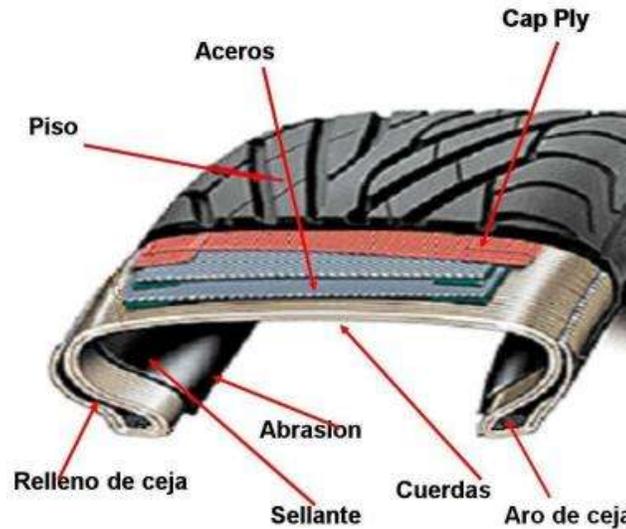
El neumático, también denominado llanta en América, es una pieza fabricada con un compuesto basado en el caucho que se coloca en la rueda de un vehículo para conferirle adherencia, estabilidad y confort. Constituye el único punto de contacto del vehículo con el suelo y, por tanto, del neumático depende en buena medida el comportamiento dinámico del vehículo: es decir, cómo se mueve el vehículo sobre el terreno.

Los neumáticos se utilizan en los vehículos, por tanto, son los componentes críticos de éstos. Soportan el peso del vehículo, de los pasajeros y de la carga a bordo. Transmiten la rotación del motor para impulsar el vehículo y absorben las vibraciones y los golpes del camino para suministrar un paseo confortable. Las llantas se usan en automóviles, camiones, autobuses, tractores agrícolas, industriales, equipo de excavación, vehículos militares, bicicletas, motocicletas y aviones (Manejo Responsable de Llantas Usadas, A.C., 2015).

La Industria del Neumático en el país está ligada a la Industria del Hule, que representa alrededor del 70% de la misma. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), publicó la NOM-161-SEMARNAT-2011, en la que se establecen los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial. Éste es un listado de Residuos de Manejo Especial Sujetos a Presentar Plan de Manejo en el numeral VIII, se listan los productos que al transcurrir su vida útil se desechan, entre los cuales se encuentran los Neumáticos de desecho.

2.2.1. Partes del neumático.

Figura 2. Partes Principales de un Neumático.



Fuente: (Manejo Responsable de Llantas Usadas, A.C., 2015).

Los neumáticos están conformados por las siguientes partes:

Telas (Cap Ply) y Aceros: Tienen la función de soportar la carga y de mantener la estabilidad del neumático.

Banda de rodamiento (Piso): Es la parte del neumático que permite la adherencia al suelo. Su diseño debe proporcionar capacidad de frenado y tracción. Su compuesto de caucho debe resistir la abrasión y el desgaste.

Pared lateral (Ceja): Es la parte de la estructura que va de la banda de rodamiento hasta el aro de ceja, siendo revestida por un compuesto de caucho con alta resistencia a la fatiga por flexión.

Sellante: Es el revestimiento protector en la parte interna del neumático. Proporcionan la impermeabilidad al aire y a la humedad.



Aros de ceja: Están compuestos de cables de acero revestidos en cobre para evitar la oxidación, separados individualmente por compuestos de caucho para evitar el contacto entre ellos y revestidos de un tejido tratado. Su función es amarrar el neumático al rin y tener alta resistencia a la rotura.

Los neumáticos tienen como composición principal el hule, el acero y la fibra textil. Los dos primeros compuestos son totalmente aprovechables en la fabricación de bienes de acero o de hule como soportes, topes, señalización, pasto sintético e incluso es utilizado en la colocación de concreto hidráulico o asfalto ahulado y por supuesto como combustible alterno en el procesamiento. El acero constituye aproximadamente el 7% del material utilizado para fabricar un neumático.

2.2.2. Composición de los Neumáticos.

Los neumáticos son estructuras tubulares complejas (se utilizan hasta 200 compuestos químicos diferentes) compuestas fundamentalmente de caucho natural (su principal componente), cauchos sintéticos, negro de humo (carga de refuerzo), agentes químicos (azufre, óxido de zinc, Cadmio y aditivos), aceites minerales y fibras reforzantes (hilos de acero y textiles) (Bernal, 2015).

De forma general, el neumático está compuesto por diversos componentes. En la tabla podemos observar la composición típica porcentual y en la tabla 4 podemos observar la composición química elemental de los NFU.



Tabla 3. Composición típica porcentual por componentes de los NFU.*Vehículos.

Componente	Incidencia (%)	Vehículos Pesados (%)
Caucho y elastómeros	48	45
Negro de humo	22	22
Refuerzos metálicos (acero)	15	25
Refuerzos textiles	5	0
Óxido de Zinc	1.2	2.1
Azufre	1	1
Aditivos y Otros		
Peso de neumático	6.5 - 9	55 - 80

Fuente: (Bernal, 2015).

Tabla 4. Composición química elemental de un NFU*Hidrógeno. Oxígeno,

Elementos	Peso (%)
C (Carbonó)	70
H (Hidrógeno)	7
S (Azufre)	1
N ₂ (Dinitrógeno)	0.5
O (Oxígeno)	4
ZnO (Óxido de Zinc)	1
Fe (Hierro)	16
Ácido esteárico	0.3
Halógenos	0.1
Ligandos cupríferos	200 mg/kg
Cd (Cadmio)	10 mg/kg
Cr (Cromo)	90 mg/kg
Ni (Níquel)	80 mg/kg
Pb (Plomo)	50 mg/kg

Fuente: (Bernal, 2015).



2.2.3. Generación de los NFU.

La generación de neumáticos usados de desecho en México no ha sido cuantificada como tal, tampoco existe un sistema nacional de baja de vehículos que nos permita hacer un cálculo indirecto confiable de las llantas que se desechan por año, sin embargo, con la información recabada e incluida, se puede estimar que cada año se desechan aproximadamente 32,000,000 de neumáticos usados de desecho, teniendo en cuenta la producción aparente (Manejo Responsable de Llantas Usadas, 2015).



3. ESTADO DEL ARTE.

3.1. Primeros Estudios con agregados reciclados.

La construcción con materiales reciclados es el proceso de reutilización de materiales desechados para volver a utilizarlos para el mismo fin, para edificar nuevas construcciones.

Los primeros estudios documentados sobre la caracterización de los materiales de construcción reciclados datan de la posguerra en los años 40's del siglo XX, en esos tiempos Europa tenía grandes cantidades de escombros producto de los bombardeos, que comenzaron a usarse como materiales para reconstruir, con buenos resultados. Los países más devastados fueron el Reino Unido y Alemania, las publicaciones de la época, mayormente británicas, alemanas y rusas dan

cuenta del uso de escombros para construcción de nuevas obras civiles, sólo que muchos de los escombros eran material cerámico (ladrillos, cerámicas de mobiliario de servicios sanitarios), material pétreo natural, plásticos y gomas (Hoffmann et al, 2012, Kulakowski et al, 2012) y concreto hidráulico; que posteriormente tuvieron adiciones como escorias, cenizas, humo de sílice (González-Fonteboa et al, 2009). El concreto hidráulico llegó a América a fines del siglo XIX (Torres et al, 2014), y los EEUU iniciaron también sus estudios en reciclado. El primer informe de concreto reciclado fue realizado en la entonces Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, por Gluzhge, P. en 1946, poco tiempo después de finalizar la 2a Guerra Mundial.

3.2. Gestión de los RCD.

El sector de la construcción contribuye a muchos de los impactos medioambientales. Según Barrientos (2016), la industria de la construcción es la principal consumidora de recursos en el mundo. Se estima que el 40% de la energía total y el 30% de emisiones de CO₂ provienen de dicha industria.



Así mismo, los residuos provenientes de la industria de la construcción, denominados residuos de construcción y demolición (RCD) y que corresponden principalmente a ladrillos, tejas, cerámica, artículos sanitarios, mezclas de concreto y restos de yeso, se constituyen en un problema ambiental grave, ya que su generación y mala disposición, ocasiona diversos impactos negativos como: la contaminación del agua, la tierra y el aire, y afectación en los ecosistemas y en la salud humana.

Es por esta razón, que países como Alemania, España y Bélgica, se encuentran a la vanguardia en el tratamiento y aprovechamiento de estos residuos, adelantando una política que incluye separación en la fuente, tratamientos específicos y aprovechamientos en diferentes áreas de la construcción, disminuyendo el porcentaje de material residual a ser dispuesto (Pacheco *et al.*, 2017).

Sin embargo, en América Latina, no existen adelantos tan significativos en este tema. Al constituirse en la región con mayor número de población que vive en las grandes ciudades- casi el 80% de la población total-, y debido a la falta de conciencia, planificación y ubicación de lugares apropiados para el reciclaje de estos residuos, estas ciudades han concebido- en algunos casos-, como vertederos de estos residuos, las cuencas de ríos, contribuyendo a diversos problemas ambientales. Colombia no escapa de esta situación, diariamente se generan grandes cantidades de RCD, a los que no siempre se les aplica un buen sistema de gestión.

Para la gestión adecuada de estos materiales RCD se debe de analizar el tipo de residuo del que se trata por jerarquías desde el de mayor calidad hasta el de menor, si se trata de RCD seleccionado anteriormente o se trata de un material de residuo mixto, si contiene material contaminante que pueda reducir su calidad.

De acuerdo a estudios con anterioridad esta jerarquía se compone de 4 niveles que son: la prevención, reutilización, reciclaje y eliminación.

Es decir, una correcta gestión consiste en hacer una adecuada selección de los residuos de construcción separando los materiales aprovechables de residuos peligrosos y materias indeseables para la calidad del RCD y así recuperar al máximo el mayor volumen posible. Hoy



en día en México es necesario poner especial atención en este tema ya que la gestión es deficiente lo que ha ocasionado que este recurso no sea atractivo ni aprovechable en la industria de la construcción. Para que en México y a nivel mundial este material sea atractivo para la industria de la construcción debe de dejarse de ver y llamar como “residuo” para dejar pasó a un significado más impactante en la sociedad y considerarse como un “recurso”. En este sentido, hay diversos planes de trabajo para el reciclaje de los RCD a nivel mundial, uno de ellos es España donde mencionan que la principal problemática de la gestión actual, puede resumirse en los siguientes puntos: 1.- volumen de generación muy elevado, 2.- Casi nula clasificación de origen, 3.-baja captación en las plantas de tratamiento e importante flujo de vertido no controlado, 4.- Déficit de instalaciones de valorización y 5.-Problemas en la comercialización de los áridos reciclados.

Por tal motivo lo que se ha dicho anteriormente el principal problema de la gestión adecuada y correcta reside en la falta de infraestructura, que en la peligrosidad de sus componentes. Hay muchas y diversas causas de la baja captación de RCD en las plantas de tratamiento como son la concienciación en las empresas constructoras sobre el vertido en lugares establecidos para su correcta gestión, básicamente debido a unas menores exigencias legales o a precios más bajos de vertido en las zonas limítrofes. También en la misma sociedad y culpa a la vez de las autoridades encargadas del sector de la construcción la mayoría de los constructores tienen cierta desconfianza en la utilización de estos áridos ya sea por desconocimiento de sus propiedades o por simple desconfianza a pesar de que haya estudios certificados que acreditan que los áridos reciclados acreditan con las especificaciones necesarias (en algunas ocasiones algunos materiales reciclados han presentado dificultades para cumplir las especificaciones establecidas en la normativa mexicana para la construcción de carreteras). Esta situación genera desconfianza en el sector e impide el correcto desarrollo del mercado de los áridos reciclados. En general en relación a los áridos naturales los áridos reciclados pueden ser competitivos en costo del mercado. Ya dicho todo lo anterior presenta diversas dificultades la inclusión en el sector de la construcción, es una cuestión de convencimiento de los diversos sectores, desde los constructores hasta los diseñadores deben estar convencidos en que la utilización de estos materiales secundarios no afectara a las prestaciones que debe dar la obra. En conclusión, una condición previa para conseguir la utilización amplia de los materiales reciclados en la industria



de la construcción es una adecuada interacción entre los promotores, los diseñadores, los contratistas, la industria de suministro de materiales y los suministradores de materiales secundarios.

Algunos de los planes de trabajo que se deben de adaptar y seguir según el Plan Nacional de Residuos de construcción en España y que se pueden adaptar a un plan nacional en México son los siguientes:

1. Redacción de planes de prevención de RCD en obras y proyectos que contengan herramientas e indicadores para la cuantificación y caracterización de los RCD.
2. Redacción y publicación de guías prácticas para la prevención de RCD en obras.
3. Impulso y apoyo a través de diversos programas de apoyo para el desarrollo de tecnologías de clasificación de residuos de construcción y demolición susceptibles de implantación en diversas obras.
4. Obligación de elaborar planes empresariales de prevención de RCD a los promotores de las obras.
5. Redacción de programas de formación a profesionales del sector de la construcción en materia de prevención y gestión de RCD en la política de compras de las compañías. Incorporación de prescripciones, con este mismo fin, en los pliegos de condiciones de las obras de iniciativa pública.
6. Implantación de sistemas certificados de gestión ambiental.
7. Incorporación de criterios ecológicos sobre los residuos en la elaboración de proyectos, basados en consideraciones como el impacto ambiental global, los ciclos de vida, el ahorro de recursos y el desarrollo sostenible.



8. Realización de campañas de concienciación social sobre el uso de los RCD, con la implantación de sistemas de recogida de los residuos de construcción y demolición en puntos limpios y con la información pertinente a la sociedad de la ubicación de estos puntos.
9. Impulso a la mejora de tecnología en materia de gestión de RCD.
10. Implantación de sistemas de depósito, devolución y retorno en determinados productos utilizados en la construcción.
11. Análisis ecológico sobre de posibles incentivos al aumentar el rendimiento y eficiencia de estas plantas de valorización de los RCD.
12. Introducción en los pliegos de prescripciones la utilización de los RCD en el porcentaje que se considere adecuado y obligar a cumplir ese estatuto.
13. Penalizaciones cuando se utilice 100% material virgen cuando haya la posibilidad de utilizar RCD con similares características a las del árido natural y para la elaboración del proyecto.
14. Estudio de las posibles ventajas ecológicas, técnicas y económicas de un posible gravamen ambiental a la extracción de áridos naturales.

3.3. Gestión de los Residuos de llanta provenientes de NFU.

Los Residuos de llanta o partículas de caucho provienen de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) para la gestión de estos en México se creó el Plan de Manejo Responsable de Llantas Usadas, el cual es un instrumento de la política ambiental que la Asociación Civil, pone a disposición de los diversos sectores como una solución ordenada, eficiente y adecuada a la problemática que representa el manejo actual de los neumáticos usados de desecho en el País,



con el objeto de reducir el impacto social, ambiental y económico negativo que tienen estos residuos.

Este Plan de Manejo de Neumáticos usados de desecho para Vehículos Automotores, está elaborado siguiendo el contenido mostrado en la Norma Oficial Mexicana - NOM-161-SEMARNAT-2011 – “Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuales están sujetos a Plan de Manejo”, planteando como estrategia de sustentabilidad el alcanzar un bienestar ecológico, mediante la recuperación de los neumáticos usados provenientes de la industria, el sector público, los comerciantes y/o el desecho de los usuarios/propietarios o población en general.

Las alternativas para el manejo de los neumáticos usados de desecho se enfocan al principio de las 3R's (reusar, reciclar y reducir):

- ❖ Reusar: Acción de dar un nuevo uso al residuo,
- ❖ Reciclar: Acción de procesar el residuo, para servir de materia prima para un producto fabricado, y
- ❖ Reducir: Acción de usar la menor cantidad de un producto y de extender su vida útil para reducir la generación de residuos.

3.3.1. Reusar.

Co-Procesamiento

Los neumáticos tienen uno de los tres mayores índices de poder calorífico, comparado con otros tipos de residuos. Por lo que actualmente la industria cementera a través del co-procesamiento aprovecha los neumáticos usados como combustible alternativo, siendo esta opción tecnológica la más utilizada en el mundo. En el 2013, la Industria Cementera fue la segunda consumidora de energía más importante del país, con una participación del 8.4%. En el 2011 el 2.6% del consumo de energía en la Industria del Cemento fue utilizando llantas como combustible, lo cual representa un total de 8,358,000 neumáticos usados de desecho al año.



Pirolisis

Este proceso se define como la descomposición térmica en ausencia de oxígeno de desechos poliméricos (como el hule) para la recuperación de gases y líquidos (combustibles) y sólidos (negro de humo y metales).

Se tiene conocimiento de varias empresas ya instaladas en el país que realizan este tipo de procesos.

La ventaja que se tiene es que el residuo en particular se elimina por completo y se obtiene un combustible que será comercializado para otros tipos de proceso. Se hace una recuperación extensiva de los materiales y estos se reutilizan como combustible y para recuperación de metales.

Otros usos para los neumáticos usados de desecho

En este sentido, en México ya se le dan diferentes usos a los Neumáticos Usados de Desecho, que en ocasiones son artesanales y que pueden ser interesantes oportunidades de negocio para los recolectores, entre los que se encuentran: Jardines de polinización, fabricación de macetas, bardas perimetrales, juegos infantiles, protección de columnas, construcción de casas, etc.

3.3.2. Reciclar.

La actividad del reciclaje de los neumáticos usados de desecho es hasta ahora incipiente en México. El reciclaje es la utilización de los materiales contenidos en los neumáticos usados de desecho para propósitos diferentes para los cuales se diseñaron originalmente.

La industria del reciclaje ofrece una serie de ventajas ambientales, sociales y económicas de gran beneficio para México, al crear fuentes de empleo, generar nuevos mercados de bienes de consumo como: topes, señalamientos de tránsito, materia prima para



asfalto, cemento hidráulico, pisos, empaques, uso en pastos sintético, pistas deportivas, etc., esto sin contar que es materia prima abundante y a bajo costo

3.3.3. Reducir.

Incremento vida útil

El incremento de la vida útil del neumático reduce considerablemente la generación de este residuo, por lo cual, las compañías participantes en este plan de manejo, dedican gran parte de sus campañas a realizar capacitación en estos temas

Adicionalmente, como parte de las actividades en pro de la comunidad, se realizan campañas de seguridad vial de forma periódica y extensiva, para que los conductores y sus familias comprendan los riesgos del consumo de alcohol al manejar, de los cuidados de los vehículos y algunos otros temas que concienticen a la sociedad.

Renovado

El renovado de los neumáticos usados es un proceso que se utiliza para alargar la vida de este producto, reduciendo así la cantidad de neumáticos enviados a disposición. En este proceso de renovado se utiliza un neumático que todavía se encuentra en su período de vida útil, al cual, se le agrega una capa de piso de neumático y mediante un proceso en un auto clave, en el que se adhieren los dos materiales.

3.4. Agregados de RCD y partículas de caucho en bloques de concreto.

Encontrar alternativas de utilización de los neumáticos y los RCD dentro del campo de la construcción, es una necesidad y una ayuda para la reducción del impacto ambiental que el depósito incontrolado de neumáticos fuera de uso y RCD provocan de manera general en todas partes. Al mismo tiempo, se han hecho varios estudios por separado de la utilización residuos de llanta (caucho) de neumáticos y residuos de la construcción para la elaboración de



bloques, favoreciendo a resolver uno de los problemas ambientales más importantes, como es la eliminación de los residuos sólidos.

De acuerdo con la investigación realizada por (Torres H, 2014), se concluyó que la resistencia a compresión de los bloques se reduce con la incorporación en volumen de residuos de caucho. Las propiedades mecánicas se valoraron añadiendo un 10%, 20% y 30% sustituyendo el agregado fino con residuos de llantas de caucho.

Por otra parte, en la investigación realizada por (Bastidas P. y Viñán M.,2017) donde se fabricaron 4 mezclas, una que corresponde al concreto convencional y las tres restantes pertenecen a las mezclas que sustituyen el 4% en peso del agregado fino por partículas de caucho retenidas por los tamices N°16, N°30 y N°50 en donde la resistencia a la compresión alcanzada a los 28 días de las mezclas de concretos fueron 82,65%, 80,36% y 69,95% respectivamente con relación a la mezcla convencional de concreto que obtuvo el 100% de resistencia a compresión con la cual fue diseñada la mezcla. Por lo tanto, se concluye que la mezcla que mejor comportamiento tuvo fue el concreto elaborado con partículas retenidas en el tamiz N°16 haciendo notar que el tamaño de la partícula influye en la resistencia de los bloques.

En la investigación de (Fraile, E. et al., 2018) se examinó el comportamiento térmico y resistencia de elementos de construcción de concreto (ladrillos, losas y vigas) fabricadas con sustitución de 0%, 10% y 20% de partículas de caucho de neumáticos. Por lo tanto, se concluye que los elementos de construcción con caucho optimizan la capacidad de aislamiento térmico siempre y cuando esta sustitución se mantenga por debajo del 20% para evitar afectaciones a las propiedades mecánicas de concreto. Tal mejora en el aislamiento térmico daría lugar a menores demandas de energía lo que a su vez se traduce en ahorros económicos.

En la investigación de (Guo, Z. et al., 2020) se hizo una evaluación del ciclo de vida en bloques de concreto convencionales y bloques de concreto elaborados con agregados de concreto reciclado donde se compararon el potencial de calentamiento global, potencial de acidificación, potencial de eutrofización, potencial de toxicidad humana y potencial de niebla fotoquímica en la atmosfera. Este análisis indico que los impactos ambientales de la producción



de bloques de concreto con agregado reciclado son menores que los de los bloques de concreto convencionales, lo que se atribuye principalmente a la distancia de transporte mucho más larga de los agregados naturales. Por lo tanto, el uso de Residuos de Construcción y Demolición para la producción de bloques tiene varias ventajas y mejoras significativas en la huella ambiental y el desarrollo sostenible de las estructuras de mampostería.

En el trabajo realizado por (Leiva, C., et al., 2013) se concluye que la sustitución tanto del agregado fino como el grueso por Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) para la elaboración de bloques disminuye la densidad y la resistencia mecánica a los 28 días, pero hay mejoras en el aislamiento acústico, aislamiento térmico y resistencia al fuego.

En el estudio presentado por (Matar y Dalati, 2011) donde se investigaron el efecto de los agregados de concreto reciclado sobre la resistencia a la compresión de bloques de concreto. En cual, se elaboraron bloques con sustitución del 30-100% de agregados reciclados y en algunas muestras se adiciono un 10% de cemento, se demostró que el uso de agregados reciclados con una adición del 10% en comparación con la cantidad de cemento normalmente utilizada podría permitir la producción de bloques de concreto con características similares a los bloques de concreto con agregados naturales, pero no es económico utilizar solo agregados reciclados ya que se tendría que aumentar el porcentaje de cemento para elevar la resistencia a la compresión y se recomienda que la cantidad de agregados reciclados no supere el 50% de la cantidad total.



4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La problemática ambiental asociada al Manejo Actual de los Residuos de la Construcción y Demolición tiene que ver con la disposición sin separación ni tratamiento, frecuentemente en sitios clandestinos, de una mezcla de material de excavación, restos de ladrillo, azulejos, mortero, concreto, yeso, madera, plásticos, solventes y restos de pintura, metales y otros materiales utilizados en los procesos constructivos de obras, generan un impacto ambiental relevante.

El problema ambiental que conlleva la producción de residuos de la construcción se deriva no sólo del creciente volumen de su generación, sino también de su manejo, tratamiento y reincorporación al ciclo de la construcción, que todavía hoy es insatisfactorio en la mayoría de los casos (SMA, 2007).

De acuerdo con los datos generados por la ONU la construcción por año genera un 30% de emisión de gases de efecto invernadero, 40% de consumo de energía, 40% de generación de residuos sólidos urbanos, y se extrae un tercio de materiales existentes del medio ambiente. (Guzenski, 2015).

Según la CMIC (2018) a consecuencia del manejo inadecuado de los RCD, principalmente en la disposición final, se han identificado diversos problemas ambientales, de imagen urbana y salud, destacando los siguientes:

- ❖ Obstrucción de arroyos, cañadas y barrancas.
- ❖ Afectación al drenaje natural.
- ❖ Azolve de las partes bajas e inundación de zonas aledañas en temporada de lluvias.
- ❖ Afectación al medio físico y medio biótico (flora y fauna).
- ❖ Focos de contaminación por mezcla de residuos, incluso peligrosos.
- ❖ Contaminación del suelo y subsuelo e incluso de acuíferos.
- ❖ Afectación de zonas de recarga de agua subterránea.



- ❖ Impacto visual del entorno.
- ❖ Proliferación de polvo (contaminación del aire) que provoca enfermedades respiratorias.
- ❖ Proliferación de fauna nociva

Parte de la problemática es el que conlleva el mal manejo de los residuos, es la falta de conciencia y educación ambiental, ya que en muchas ocasiones las personas no saben qué hacer con los residuos y terminan arrojándolos a lotes baldíos o pagando a transportadores para que ellos dispongan de ello, los cuales por obtener un beneficio económico generalmente terminan arrojándolos a sitios clandestinos o vertederos incontrolados y así, generando contaminación ambiental y visual.

La falta de regulación de la disposición final de las grandes empresas generadoras de RCD. Para contrarrestar esta falta lo que recomienda la CMIC es la implementación del desarrollo de un “Plan de Minimización de RCD en las empresas constructoras, como parte de sus políticas operativas, que incluyan los siguientes rubros:

1. Aplicación de buenas prácticas para la reducción de la generación de los residuos.
2. Incremento en el empleo de materiales que se puedan reciclar.
3. En lo posible evitar el uso de materiales cuyos residuos sean tóxicos.
4. Pactar la devolución de embalajes usados a los proveedores.

Otra gran problemática ambiental es la masiva fabricación de neumáticos y la gran dificultad para gestionarlos, que constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo. Las alternativas para el manejo de los neumáticos usados de desecho se enfocan al principio de las 3R's; reusar, reciclar y reducir. El resultado de esta gran problemática según el Manejo Responsable de Llantas Usadas (2015) se enuncian a continuación:

- ❖ Los neumáticos tardan cientos de años en descomponerse.
- ❖ Son excelente refugio de flora y fauna nociva, (mosquitos, cucarachas, roedores, etc.).
- ❖ Tienen un alto poder calorífico (incendios).



- ❖ Su volumen dificulta el manejo y disposición, (rellenos sanitarios).
- ❖ Dan un mal aspecto visual cuando son dispuestas de manera inadecuada.

En los últimos años, la demanda de autos se ha incrementado en grandes magnitudes en todo el país, es por ello que uno de los elementos que está ligado directamente a este problema, es el aumento considerable de neumáticos fuera de uso.

Por tal motivo, cabe indicar, que es indispensable establecer un adecuado control para identificar los lugares y el porcentaje de neumáticos fuera de uso que se generan. En consecuencia, la falta de información hace que éste sea un problema actual que influye directamente con la calidad de vida de los habitantes.

4.1. Enunciado del problema.

¿Cómo influye la incorporación de RCD y residuos de llanta en el comportamiento mecánico de tabicones de concreto, al ser adicionados?

¿La adición de residuos de concreto aunados a los residuos de llanta sustituirán en cierto porcentaje a los agregados naturales para producir tabicones que cumplan con la normativa mexicana?

¿El uso de residuos de concreto y llanta disminuirán el uso de los agregados naturales?

¿Cuáles son los beneficios de usar Residuos de concreto y residuos de llanta en materiales para la construcción?

¿Hay algún ahorro económico el usar agregados de concreto reciclado respecto al uso de agregados naturales?



5. JUSTIFICACIÓN.

La presente investigación se desarrolla en virtud de mitigar el impacto producido por el incremento en la generación de Neumáticos fuera de uso y RCD, que además de modificar el equilibrio ecológico del medio ambiente, desmejora la calidad de vida de los seres humanos.

La construcción siempre ha estado vinculada con el desarrollo del país y ha sido palanca fundamental para lograrlo. La infraestructura carretera, las obras pesadas de irrigación, la transmisión de energía, las obras de edificación entre las que sobresale la vivienda de interés social, la construcción de obras de equipamiento urbano, son parte de los activos del país (CEMIC, 2018).

Además de lo anterior, juega un papel importante en la generación de empleos y de producción a escala nacional, por lo que en ocasiones se ha utilizado como indicador de la situación económica nacional. De acuerdo con información de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, sólo la actividad de la construcción es la cuarta actividad con mayor capacidad de generación de empleos, además de resaltar el hecho de que emplea personas altamente capacitadas, pero también es de las actividades que pueden emplear a los menos capacitados (Rodríguez y García, 2013).

La construcción civil es considerada una gran recicladora, el reciclado de residuos de construcción y demolición permite maximizar los recursos disponibles reduciendo el consumo de recursos naturales. Menos materia prima que recoger, transformar y transportar. Menos energía consumida en el proceso. La idea es desviar dichos residuos del camino al vertedero debido al impacto ambiental y sobre la salud que este tipo de instalaciones representa. Que permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo productivo (Certificados energéticos,2018).

La conservación del medio ambiente es un bien común que concierne a toda la humanidad es por ello que en cualquier actividad o proyecto que se desee realizar es necesario la investigación y el desarrollo de nuevas alternativas que ayuden a reciclar, reusar y reducir los



residuos de construcción y los neumáticos fuera de uso. Desde el punto de vista económico, resulta atractivo cuando el producto es competitivo con otros materiales en relación al costo, calidad y seguridad.



6. OBJETIVOS.

6.1 Objetivo General.

Diseñar tabicones ecológicos para minimizar el daño al medio ambiente mediante la utilización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y Residuos de llanta provenientes de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) como material sustentable considerando su impacto económico.

6.2 Objetivos Específicos.

- ❖ Fabricar tabicones sustentables con material producto de residuos de la construcción y residuos de llanta para minimizar el consumo de los agregados naturales y consumo energético.
- ❖ Realizar un análisis comparativo entre los tabicones ecológicos y los convencionales respecto a las propiedades mecánicas.
- ❖ Hacer un análisis del Costo Directo con respecto al uso de agregados naturales y áridos reciclados y evaluar su viabilidad., así como la durabilidad de dichos tabicones.



7. HIPÓTESIS.

La implementación de bloques con RCD como sustitución del agregado natural aunada a la adición de residuos de NFU son factibles en beneficio de la industria de la construcción, los cuales cumplirán con las normas y especificaciones vigentes.



8. METODOLOGÍA.

En este caso en específico será un diseño experimental que es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables que hay manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta relación de causa-efecto (FRANCOISE PAROT, 1998, 2007).

La Metodología a seguir para llevar a cabo esta investigación se propuso en tres fases, como se muestra a continuación:

8.1. Fase I. Recopilación de la información.

a) Investigación documental.

Recopilación de todo tipo de información de diversas fuentes con el fin de obtener un panorama completo y preciso que tenga que ver con el tema ha analizado, lo cual permitió evaluar los resultados y predecir los riesgos y afecciones futuras para garantizar la certeza del estudio. Esta información se obtuvo en la revisión de proyectos que antecedieron al nuestro, así como la revisión de libros, artículos, internet, etc.

a) Investigación de campo.

Se hizo una verificación basada en la realidad, identificando como elaboran las piezas de tabicón en el mercado poder visualizar sus diferentes tipos de técnicas, se realizó una prueba piloto la cual nos permitió tener un panorama de los resultados a obtener.

8.2.Fase II. Programa Experimental.

El programa experimental de esta investigación consta de 5 etapas:

Etapa I: Se efectuó la selección y recopilación de los materiales utilizados.

Etapa II: Obtención de las propiedades físico-mecánicas de los agregados naturales y de los áridos reciclados.

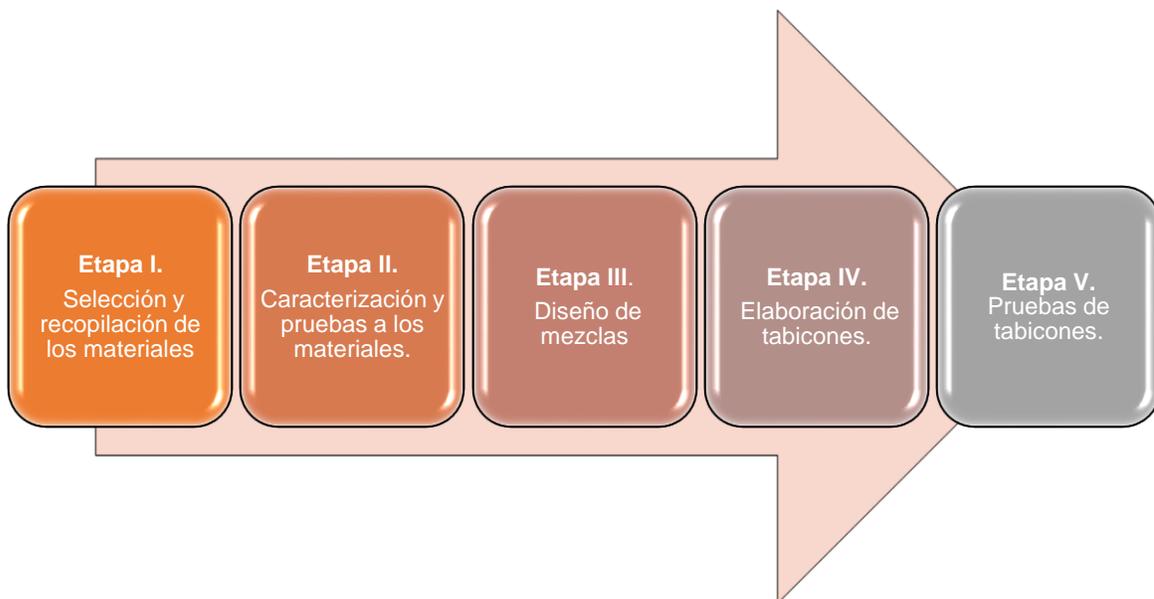
Etapa III. Diseño de mezclas, propuestas de acuerdo a las investigaciones previas y resultados obtenidos durante el avance de la investigación. La proporción para la mezcla “testigo” se obtuvo de la empresa “TABITODO”, ubicada en la ciudad de Morelia, Mich.

Etapa IV. Elaboración de tabicones, elaborados en la bloquera “TABITODO” de acuerdo a sus procedimientos.

Etapa V. Pruebas a los tabicones: obtención de las propiedades físico-mecánicas de los tabicones.

En la siguiente imagen se muestra un diagrama del programa experimental a seguir de manera general en la figura 3.

Figura 3. Programa experimental.



Fuente: Elaboración propia.



8.3.Fase III. Análisis de Resultados.

Resultados

Conclusión

Edición del documento

Presentación del proyecto

8.4.Pruebas a realizar en los materiales.

8.4.1. Balastre.

Este material en estudio es proveniente de un banco de materiales Zinapécuaro (conocido como el banco “del Sr Enrique”), ubicado en la región de Zinapécuaro, Michoacán (coordenadas 9°52'41.8"N 100°52'52.4"W).

Los ensayos realizados se señalan a continuación:

8.4.1.1.Prueba de humedad de absorción (NMX-C-165-ONNCCE-2014).

8.4.1.2.Gravedad específica o densidad relativa saturada (NMX-C-165-ONNCCE-2014).

8.4.1.3.Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) (NMX-C-073-ONNCCE-2004).

8.4.1.4.Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) NMX-C-073-ONNCCE-2004).

8.4.1.5.Granulometría o análisis granulométrico (NMX-C-077-1997-ONNCCE).

Sedimentación en agregado fino (Navarro et al, 2011).

8.4.2. Sello.

Este material granular en estudio es proveniente de la región de Morelia, Michoacán este agregado fue obtenido del banco de material llamado “Cerritos” ubicado en la carretera Morelia-Guadalajara, Cuto del Porvenir. Las pruebas realizadas se mencionan a continuación:



- 8.4.2.1. Prueba de humedad de absorción (NMX-C-164-ONNCCE-2014).
- 8.4.2.2. Gravedad específica o densidad relativa saturada (NMX-C-164-ONNCCE-2014).
- 8.4.2.3. Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) (NMX-C-073-ONNCCE-2004).
- 8.4.2.4. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) (NMX-C-073-ONNCCE-2004).
- 8.4.2.5. Granulometría o análisis granulométrico (NMX-C-077-1997-ONNCCE).

8.4.3. Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

El material en estudio es proveniente del antiguo CERESO "Francisco J. Múgica" de Morelia, Michoacán, lo que hoy es la futura sede de las oficinas centrales del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), ubicado en Av. Acueducto, los cuales son producto de la trituración de los escombros del CERESO y usado con como sustitución del agregado grueso. Las pruebas realizadas se indican a continuación:

- 8.4.3.1. Prueba de humedad de absorción (NMX-C-164-ONNCCE-2014).
- 8.4.3.2. Gravedad específica o densidad relativa saturada (NMX-C-164-ONNCCE-2014).
- 8.4.3.3. Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) (NMX-C-073-ONNCCE-2004).
- 8.4.3.4. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) ((NMX-C-073-ONNCCE-2004).
- 8.4.3.5. Granulometría o análisis granulométrico (NMX-C-077-1997-ONNCCE).

8.4.4. Residuos de llanta.

Este material se obtuvo en la empresa "GRUPO ECORMX" ubicada en la carretera Morelia - Salamanca #7550-A, Col. Cuesta Prieta, 58893 Tarímbaro, Mich., el cual es producto de la trituración de neumáticos fuera de uso de la ciudad de Morelia. Para este material, solo se le hizo la siguiente prueba:



8.4.5. Cemento.

El cemento portland se obtuvo con un distribuidor oficial de cementos MOCTEZUMA, es un cemento CPC 40R de fraguado rápido. Las pruebas realizadas se indican a continuación:

8.4.5.1.Consistencia normal del cemento (NMX-C-057-ONNCCE-2015).

8.4.5.2.Método de Gillmore para determinar los tiempos de fraguado (Navarro et al, 2011).

8.4.5.3.Densidad del cemento hidráulico (NMX-C-152-ONNCCE-2015).

Paramaros revisados en el agua.

- a. Sólidos en Suspensión (SST mg/l)
- b. Sólidos Totales (ST mg/l)
- c. Total de impurezas en solución
- d. Sólidos Disueltos Totales (SDT mg/l)
- e. Cloruros Cl-(mg/l)
- f. Sulfatos como SO₄ (mg/l)
- g. Dureza Magnésica (mg/l CaCO₃)
- h. Dureza cálcica (mg/l CaCO₃)
- i. Dureza Total (mg/l CaCO₃)
- j. Carbonatos CO₃=(mg/l)
- k. Alcalinidad Total (mg/l CaCO₃)
- l. Alcalinidad a la Fenolftaleína (mg/l)
- m. Hidróxidos OH- (mg/l)
- n. Bicarbonatos HCO₃ - (mg/l)
- o. Grasas o Aceites (mg/l)
- p. Materia orgánica como DQO (mg/l)
- q. Potencial de Hidrogeno (unidades pH)
- r. Conductividad Eléctrica (us/cm)
- s. Oxígeno Disuelto (mg)



- t. Salinidad (%)
- u. Cloro Total (mg/l)
- v. Cloro Libre (mg/l)
- w. Temperatura de Análisis (°C)

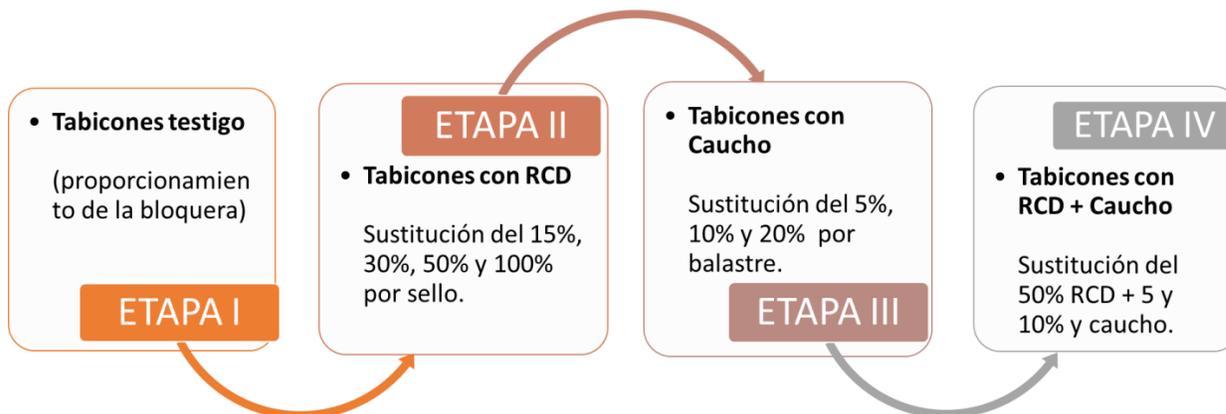
8.5. Diseño de mezclas.

Se diseñaron 10 mezclas con variación en proporciones y tipo de material empleado; por lo cual el diseño de mezclas se subdividió en cuatro etapas, en la primera se diseñó la mezcla para los tabicones testigo (tabla 5), la proporción de ésta fue otorgada por la bloquera “TABITODO”; en la segunda etapa se hicieron cuatro mezclas preliminares sustituyendo los RCD en un 15, 30, 50 y 100% utilizando la misma proporción que la mezcla testigo (tablas 6, 7, 8 y 9), solo sustituyendo el agregado grueso (sello) en cada porcentaje. En la tercera etapa se formaron 3 mezclas preliminares más sustituyendo el caucho en 5, 10 y 20% por el agregado fino (balastre), igualmente utilizando la misma proporción (tablas 10, 11 y 12). Una vez obtenidos los resultados de las mezclas de las etapas dos y tres se procedió con la cuarta y última etapa de este apartado, donde se realizaron dos mezclas finales, sustituyendo solamente el agregado grueso por un 50% de RCD y 5% caucho (tabla 13) para la primera mezcla y para la segunda mezcla, se sustituyeron en un 50% RCD y 10% de caucho por el agregado grueso (tabla 14). Se fabricaron 42 piezas por cada mezcla, debido a la cantidad de piezas necesarias para las pruebas que se realizaron posteriormente.

Cabe mencionar que se tomó la decisión de sustituir ambos residuos por el agregado grueso ya que cuando se obtuvieron los resultados de los tabicones con sustitución del caucho, nos percatamos que al disminuir la cantidad de balastre estos disminuyeron considerablemente la resistencia a compresión.

Se muestra un diagrama con las 4 etapas que se siguieron para la elaboración de los tabicones:

Figura 4. Diagrama de las etapas del diseño de mezclas.



Las proporciones de cada muestra elaborada se ejemplifican de la siguiente manera:

8.5.1. Tabicones testigo.

Tabla 5. Proporcionamiento para los tabicones convencionales testigo.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	12.00	kg
Sello	90.80	kg
Balastre	75.30	kg
Agua	11.70	kg

8.5.2. Tabicones con sustitución de RCD.

Tabla 6. Proporcionamiento con el 15% de sustitución en peso de RCD por sello.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	12.00	kg
Sello	77.18	kg
RCD	13.62	kg
Balastre	75.30	kg
Agua	11.70	kg



Tabla 7. Proporcionamiento con el 30% de sustitución en peso de RCD por sello.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	12.00	kg
Sello	63.56	kg
RCD	27.24	kg
Balastre	75.30	kg
Agua	11.70	kg

Tabla 8. Proporcionamiento con el 50% de sustitución en peso de RCD por sello.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	12.00	kg
Sello	45.40	kg
RCD	45.40	kg
Balastre	75.30	kg
Agua	11.70	kg

Tabla 9. Proporcionamiento con el 100% de sustitución en peso de RCD por sello.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	12.00	kg
Sello	0.00	kg
RCD	90.80	kg
Balastre	75.30	kg
Agua	11.70	kg



8.5.3. Tabicones con sustitución de caucho.

Tabla 10. Proporcionamiento con el 5% de sustitución en peso de residuos de llanta por balastre.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	12.00	kg
Sello	90.80	kg
Residuos de llanta	3.77	kg
Balastre	71.54	kg
Agua	11.70	kg

Tabla 11. Proporcionamiento con el 10% de sustitución en peso de residuos de llanta por balastre.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	12.00	kg
Sello	90.80	kg
Residuos de llanta	7.53	kg
Balastre	67.77	kg
Agua	11.70	kg

Tabla 12. Proporcionamiento con el 20% de sustitución en peso de residuos de llanta por balastre.

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	12.00	kg
Sello	90.80	kg
Residuos de llanta	15.06	kg
Balastre	60.24	kg
Agua	11.70	kg



8.5.4. Tabicones con sustitución de RCD más caucho.

Tabla 13. Proporcionamiento con el 50% de sustitución en peso de RCD y 5% de caucho por sello.

Material	Cantidad	Unidad
CEMENTO	12.00	kg
SELLO	40.86	kg
RCD	45.40	kg
CAUCHO	4.54	kg
BALASTRE	75.30	kg
AGUA	11.70	kg

Tabla 14. Proporcionamiento con el 50% de sustitución en peso de RCD y 10% de caucho por sello.

Material	Cantidad	Unidad
CEMENTO	12.00	kg
SELLO	36.32	kg
RCD	45.40	kg
CAUCHO	9.08	kg
BALASTRE	75.30	kg
AGUA	11.70	kg

8.6. Cuarta etapa (IV): Elaboración de los bloques.

La fabricación se llevó a cabo de acuerdo al proceso constructivo descrito anteriormente para cada una de las mezclas de la etapa I a la etapa IV y a los procedimientos con los que opera la bloquera “TABITODO”, así mismo esta se realizó dentro de sus mismas instalaciones. A continuación, se describe el procedimiento seguido:

1. Se acordó con la bloquera el día y la hora para que nos prestara sus instalaciones, verificando que las condiciones ambientales fueran favorables y con ausencia de lluvia, dos días antes se pidieron los agregados naturales al banco y el caucho granulado.
2. Posteriormente se realizó el pesaje de las cantidades y proporciones de los materiales requeridos dependiendo de la mezcla pertinente (figura 5). De igual manera se pesaron los RCD, los cuales fueron previamente triturados y cribados y el caucho. Se alistaron también las herramientas y el equipo necesario para iniciar la elaboración de los tabicones.

Figura 5. Pesaje de los materiales.



3. Para el mezclado se usó un tipo mezcladora con aspas y con mecanismo, tapada con una reja, que fue adaptada en un espacio en una de las paredes de la bloquera (figura 6 y figura 7). Se agregaron primero los agregados gruesos (sello y RCD), después agregados finos (balastre y caucho), enseguida el cemento y se mezclaron en seco hasta lograr una mezcla lo más homogénea posible.

Después de haber mezclado los materiales en seco se incorporó el agua, el agua se fue añadiendo con una cubeta en cantidades parciales, dicha cantidad fue determinada por la bloquera.

Figura 6. Mezcladora.



Figura 7. Compuerta de la mezcladora.



4. A continuación, con ayuda de la mezcladora se realizó la homogenización de los materiales con la finalidad de lograr una consistencia pastosa (figura 8), cuidando que no presentara características líquidas o que estuviera muy seca por la falta de agua, todo esto para facilitar la trabajabilidad para el moldeo de los tabicones.

Figura 8. Consistencia adecuada de la mezcla.



5. Una vez obtenida la consistencia de la mezcla adecuada se abre la compuerta (figura 9) y se sigue con la fabricación de los tabicones.

Figura 9. Compuerta abierta.



6. Posteriormente se vacía y se acomoda la mezcla dentro de los moldes de la máquina bloquera manual con la ayuda de una pala para albañilería (figura 10 y figura 11), la

misma maquina permite compactar y vibrar la mezcla, así como darles el acabado final a los tabicones.

Figura 10. Vaciado con pala para albañilería.



Figura 11. Acomodo de la mezcla en los moldes.



Figura 12. Vibrado y acabado de los tabicones con máquina bloquera



7. Enseguida se hizo el retiro el molde, el cual se hace manualmente jalando una palanca (figura 13) y se acomodan sobre una tarima para posteriormente ser transportado al lugar donde se curaron, esto con la ayuda de un diablito (figura 15).

Figura 13. Retiro del molde en tabicones.



Figura 14. Tabicones acomodados en la tarima.



Figura 15. Transporte de los tabicones.



8. Por último, se dejaron secar los especímenes por tres días al aire libre cubiertos con plástico, con la finalidad de que no perdiera humedad. Y posteriormente se llevaron a curar en las camas de arena del laboratorio de materiales Ing. Luis Silva Ruelas de la UMSNH (figura 16 y 17).

Figura 16. Secado de los tabicones.



Figura 17. Curado de los tabicones.





8.7. Quinta etapa (V): Pruebas a los tabicones.

Estas pruebas se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” ubicado en el Edificio “F”, de la Ciudad Universitaria, de la UMSNH, en Morelia, Mich. Las pruebas realizadas a estos, son las siguientes:

- 8.7.1. Resistencia a la compresión (NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NMX-C-441-ONNCCE-2013).
- 8.7.2. Mecanismo de falla de los tabicones (NMX-C-464-ONNCCE-2010).
- 8.7.3. Humedad Actual (NMX-C-037-ONNCCE-2013).
- 8.7.4. Absorción total en tabicones (NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012).
- 8.7.5. Módulo de Ruptura (MR).
- 8.7.6. Resistividad eléctrica (NMX-C-514-ONNCCE-2016).
- 8.7.7. Módulo de Elasticidad en Cilindros.



9. RESULTADOS.

9.1. Pruebas a los materiales estudiados en la etapa II.

Antes de la prefabricación de los bloques se hizo la caracterización de los materiales mediante algunas pruebas físicas y la medición de algunos parámetros utilizando normativa nacional mexicana como lo son las normas o estándares NMX-ONNCCE que evalúa, dictamina y certifica la conformidad de productos, procesos, sistemas de gestión de la calidad y servicios relacionados con las NMX de la construcción y la edificación. Los resultados se contrastaron con los parámetros exigidos por la normativa y así se indagó el cumplimiento del material en estudio previendo mejores resultados en la elaboración de los bloques.

Para llevar a cabo las pruebas al balastre, residuos de llanta, sello y RCD, se hizo una preparación y acondicionamiento del material muestra. Para esto, se tomó una muestra del agregado correspondiente, de acuerdo con el método de muestreo descrito en la NMX-C-030-ONNCCE-2004, y se reduce de acuerdo con la norma NMX-C-170-ONNCCE-2019, a un volumen de, por lo menos, el doble del volumen del picnómetro que se va a emplear en la determinación. A continuación, se describen las pruebas a realizadas:

9.1.1. Pruebas realizadas al balastre.

9.1.1.1. Prueba de humedad de absorción.

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-165-ONNCCE-2014 para agregado fino cuyo objetivo es determinar el índice de la porosidad del material que es un indicador de su calidad, esto se basa en el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24h a temperatura ambiente, éste aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.



Formula:

$$\%H.Absorción = \frac{M_{ss} - M_s}{M_{ss}} \times 100$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.

Tabla 15. Absorción y humedad del agregado natural.

No. de espécimen	M _{ss} (g)	M _s (g)	H. Abs (%)
1	300.00	271.60	10.46%
2	300.00	272.20	10.21%
3	300.00	272.00	10.29%
		Promedio	10.32%

Referencia:

NMX-C-165-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino - Método de Ensayo.

9.1.1.2.Gravedad específica o densidad relativa saturada.

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-165-ONNCCE-2014, cuyo objetivo es determinar gravedad específica para agregado fino, esta característica es un índice de calidad de material, puesto que un valor bajo de éste nos indicará que el material es muy poroso y si resulta demasiado alto es un material muy denso, también servirá para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en la mezcla de concreto. Estas pruebas se basan en la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen del agua desalojada, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente



secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas.

Formula:

$$\text{Densidad (Drss)} = \frac{M_{sss}}{M_{pa} + M_{sss} - M_{pma}}$$

Escriba aquí la ecuación.

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.

Tabla 16. Gravedad específica o densidad relativa saturada.

No. de espécimen	M _{sss} (g)	M _{pma} (g)	M _{pa} (g)	Dr _{sss} (g/cm ³)
1	301.40	932.40	773.60	2.114
2	300.00	908.60	750.40	2.116
3	300.00	932.60	774.60	2.113
			Promedio	2.114

Referencia:

NMX-C-165-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino - Método de Ensayo.

9.1.1.3. Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS).

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004, cuyo objetivo es determinar masa volumétrica seca y suelta en agregado fino y grueso, esto es la cantidad de masa por unidad de volumen ocupada por el agregado.



Formula:

$$M.V.S.S. = \frac{M}{V}$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.

Tabla 17. Gravedad específica o densidad relativa saturada del balastre.

No. de espécimen	Masa del recipiente (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del recipiente con balastre (g)	Masa del balastre (g)	M.V.S.S. (g/cm ³)
1	1840.00	2787.00	5190.00	3350.00	1.202
2	1840.00	2787.00	5200.00	3360.00	1.206
3	1840.00	2787.00	5270.00	3430.00	1.231
				Promedio	1.213

Referencia:

NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción - Agregados -Masa Volumétrica - Método de Prueba.

9.1.1.4.Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC).

Esta prueba se realizará de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004, cuyo objetivo es determinar masa por unidad de volumen de un agregado tanto fino como grueso, siendo este el volumen el ocupado por el material en el recipiente cuando es sometido a cierto grado de compactación con varilla.



Formula:

$$M.V.S.C. = \frac{M}{V}$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.

Tabla 18. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) del balastre.

No. de espécimen	Masa del recipiente (g)	Volumen del recipiente (cm3)	Masa del recipiente con balastre (g)	Masa del balastre (g)	M.V.S.C. (g/cm3)
1	1840.00	2787.00	5470.00	3630.00	1.302
2	1840.00	2787.00	5490.00	3650.00	1.310
3	1840.00	2787.00	5520.00	3680.00	1.320
				Promedio	1.311

Referencia:

NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción - Agregados -Masa Volumétrica - Método de Prueba.

9.1.1.5. Granulometría o análisis granulométrico.

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-077-1997-ONNCCE, cuyo objetivo es determinar los diámetros de las partículas ya que estos deben cumplir una amplia gama de tamaños para que la cantidad de espacios entre los agregados en una mezcla, sea lo más reducida que se pueda, así como el módulo de finura para agregado fino. Estos parámetros son un indicativo de la calidad del material, esto conforme a la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004.



Cálculos:

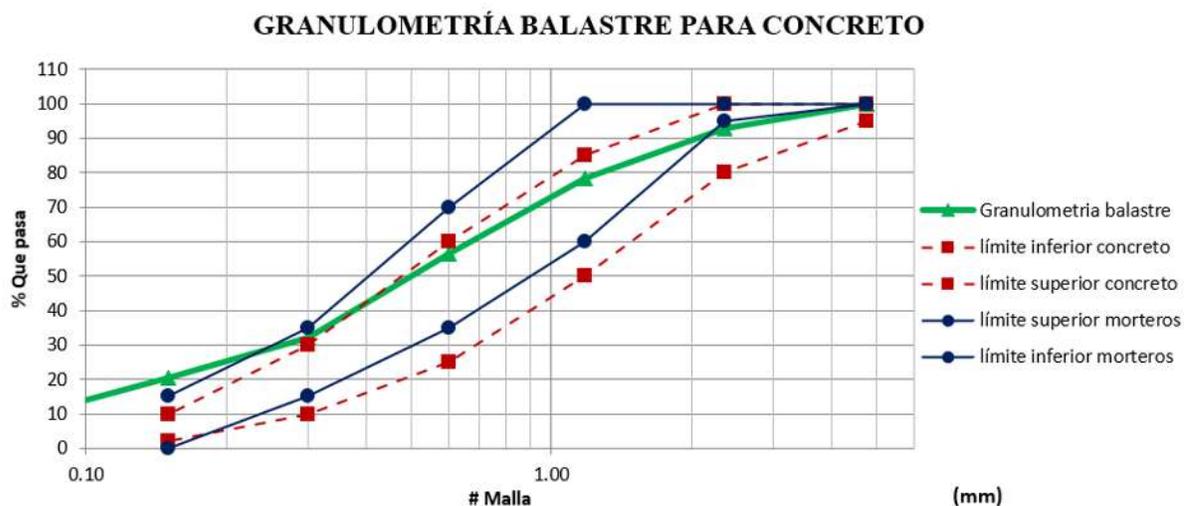
Este análisis se hizo por duplicado para obtener un resultado confiable.

Tabla 19. Granulometría o análisis granulométrico del balastre.

Malla		Masa Retenida	% Retenido	% Acumulado	% Que pasa	Concreto	
mm	"					Límite Inferior	Límite Superior
4.76	4	0	0.000	0.000	100.000	95	100
2.36	8	26.00	7.192	7.192	92.808	80	100
1.18	16	52.00	14.385	21.577	78.423	50	85
0.6	30	79.00	21.853	43.430	56.570	25	60
0.3	50	88.00	24.343	67.773	32.227	10	30
0.15	100	42.50	11.757	79.530	20.470	2	10
0.075	200	39.50	10.927	90.456	9.544		
0	CHAROLA	34.5	9.544	100.000	0.000		

El módulo de finura promedio es igual a **2.25**

Figura 18. Curva granulométrica del balastre.





Referencia:

NMX-C-077-1997-ONNCCE. Industria de la Construcción - Agregados para Concreto - Análisis Granulométrico - Método de Prueba.

Observaciones:

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 19) se concluye que el material tiene excesos de finos en los límites para la elaboración de concretos como se observa en la figura 18.

9.1.2. Pruebas realizadas al Sello.**9.1.2.1. Prueba de humedad de absorción.**

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-164-ONNCCE-2014 para agregado grueso cuyo objetivo es determinar el índice de la porosidad del material que es un indicador de su calidad, esto se basa en el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24h a temperatura ambiente, este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.

Formula:

$$\%H. Absorción = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.



Tabla 20. Prueba de humedad de absorción del sello.

No. de espécimen	Mh (g)	Ms (g)	H. Abs (%)
1	300.00	259.40	15.65
2	300.40	261.60	14.83
3	300.00	258.40	16.10
		Promedio	15.53

Especificaciones:

Tabla 21. Tipos de absorción y sus valores. .

Tipo de Absorción	% H. Absorción
Baja	Menos del 2%
Media	Entre 2% y 4%
Alta	Más del 4%

Referencia:

NMX-C-164-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso.

Observaciones:

Tomando en cuenta el promedio de los resultados (tabla 20) y de acuerdo a las especificaciones (tabla 21) se concluye que el tipo de absorción del sello es alta.

9.1.2.2.Gravedad específica o densidad relativa saturada.

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-164-ONNCCE-2014, cuyo objetivo es determinar gravedad específica para agregado fino, esta característica es un índice de calidad del material, puesto que un valor bajo de este nos indicará que el material es muy poroso y si resulta demasiado alto es un material muy denso con poca porosidad, también



servirá para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en la mezcla de concreto. Estas pruebas se basan en la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen del agua desalojada, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas.

Formula:

$$D = \frac{M}{V}$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.

Tabla 22. Gravedad específica o densidad relativa saturada del sello.

No. de espécimen	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	300.20	942.28	1.688
2	300.60	1118.40	1.707
3	300.00	1294.40	1.705
		Promedio	1.700

Referencia:

NMX-C-164-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso.

9.1.2.3. Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS).

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004, cuyo objetivo es determinar la masa volumétrica seca y suelta en agregado fino y grueso, esto es la cantidad de masa por unidad de volumen ocupada por el agregado.



Formula:

$$M.V.S.S. = \frac{M}{V}$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.

Tabla 23. Gravedad específica o densidad relativa saturada del sello.

No. de espécimen	Masa del recipiente (g)	Volumen del recipiente (cm3)	Masa del recipiente con sello (g)	Masa de sello (g)	M.V.S.S. (g/cm ³)
1	1840.00	2787.00	3650.00	1810.00	0.649
2	1840.00	2787.00	3620.00	1780.00	0.639
3	1840.00	2787.00	3640.00	1800.00	0.646
				Promedio	0.645

Referencia:

NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción - Agregados -Masa Volumétrica - Método de Prueba.

9.1.2.4.Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC).

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004, cuyo objetivo es determinar masa por unidad de volumen de un agregado tanto fino como grueso, siendo este el volumen el ocupado por el material en el recipiente cuando es sometido a cierto grado de compactación con varilla.



Formula:

$$M.V.S.C. = \frac{M}{V}$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.

Tabla 24. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) del sello.

No. de espécimen	Masa del recipiente (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del recipiente con sello (g)	Masa de sello (g)	M.V.S.C. (g/cm ³)
1	1840.00	2787.00	3810.00	1970.00	0.707
2	1840.00	2787.00	3820.00	1980.00	0.710
3	1840.00	2787.00	3790.00	1950.00	0.700
				Promedio	0.706

Referencia:

NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción - Agregados -Masa Volumétrica - Método de Prueba.

9.1.2.5. Granulometría o análisis granulométrico.

Esta prueba se realizará de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-077-1997-ONNCCE, cuyo objetivo es determinar los diámetros de las partículas ya que estos deben cumplir una amplia gama de tamaños para que la cantidad de espacios entre los agregados en una mezcla, sea lo más reducida que se pueda, así como el módulo de finura para agregado fino. Estos parámetros son un indicativo de la calidad del material, esto conforme a la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004.



Cálculos:

Este análisis se hizo por duplicado para obtener un resultado confiable.

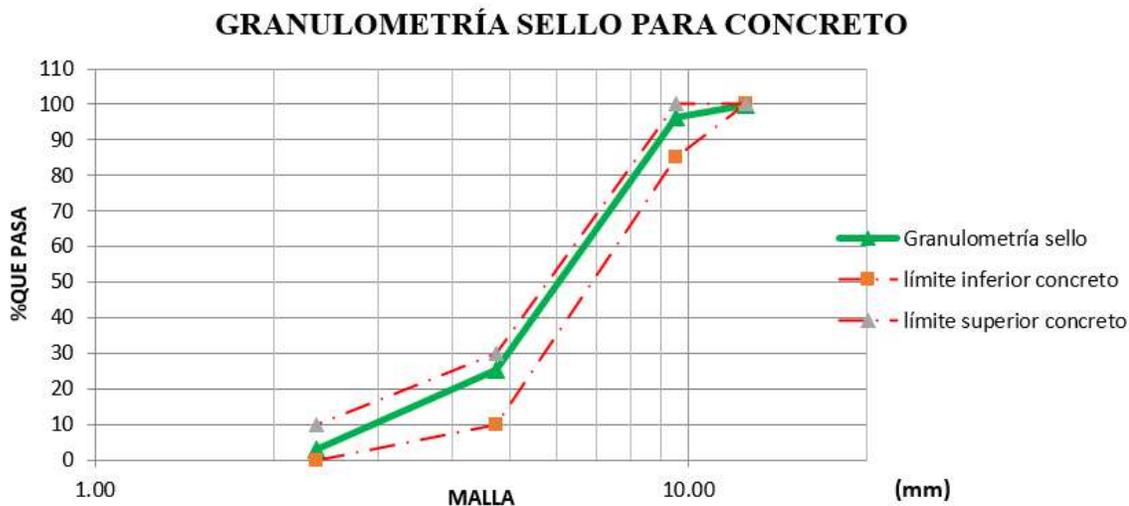
Tabla 25. Granulometría o análisis granulométrico del sello.

Malla		Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Que Pasa	Concreto	
Designación	Abertura (mm)					Límite Inferior	Límite Superior
Ret 3/4"	19.00	0.00	0.000	0.000	100.000		
Ret 1/2"	12.50	5.50	0.296	0.296	99.704	100	100
Ret 3/8"	9.50	60.50	3.261	3.558	96.442	85	100
Ret No. 4	4.75	1318.50	71.078	74.636	25.364	10	30
Ret No. 8	2.36	420.00	22.642	97.278	2.722	0	10
Pasa No. 8	0.00	50.50	2.722	100.000	0.000	0	5

El tamaño máximo del sello es igual a 1/2"

El tamaño máximo nominal (1-15% Ret.) del sello es igual a 3/8"

Figura 19. Curva granulométrica del sello.





Referencia:

NMX-C-077-1997-ONNCCE. Industria de la Construcción - Agregados para Concreto - Análisis Granulométrico - Método de Prueba.

Observaciones:

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 25) se concluye que el material se encuentra dentro de los límites que corresponden para la elaboración del concreto como se observa en la figura 19.

9.1.3. Pruebas realizadas a los Residuos de Construcción y Demolición (RCD):**9.1.3.1. Prueba de humedad de absorción.**

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-164-ONNCCE-2014 para agregado grueso. cuyo objetivo es determinar el índice de la porosidad del material que es un indicador de su calidad, esto se basa en el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24h a temperatura ambiente, este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.

Formula:

$$\%H. Absorción = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Cálculos:

Se realizaron 2 pruebas para obtener un resultado confiable.



Tabla 26. Prueba de humedad de absorción de los RCD.

No. de espécimen	Mh (g)	Ms (g)	H. Abs (%)
1	300.00	265.00	13.21%
2	300.00	265.40	13.04%
		Promedio	13.12%

Tabla 27. Tipos de absorción y sus valores. .

Tipo de Absorción	% H. Absorción
Baja	Menos del 2%
Media	Entre 2% y 4%
Alta	Más del 4%

Referencia:

NMX-C-164-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso.

Observaciones:

Tomando en cuenta el promedio de los resultados y de acuerdo a las especificaciones se concluye que el tipo de absorción de los RCD es alto.

9.1.3.2. Gravedad específica o densidad relativa saturada.

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-164-ONNCCE-2014, cuyo objetivo es determinar gravedad específica para agregado fino, esta característica es un índice de calidad del material, puesto que un valor bajo de este nos indicará que el material es muy poroso y si resulta demasiado alto es un material pesado, también servirá para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en la mezcla de concreto. Estas pruebas se basan en la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen del agua



desalojada, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas.

Formula:

$$D = \frac{M}{V}$$

Cálculos:

Se realizaron 2 pruebas para obtener un resultado confiable.

Tabla 28. Gravedad específica o densidad relativa saturada de los RCD.

No. de espécimen	Masa (g)	Volumen (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	300.80	147.00	2.046
2	301.40	148.00	2.036
		Promedio	2.041

9.1.3.3. Determinación de la masa volumétrica seca y suelta (MVSS).

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004, cuyo objetivo es determinar la masa volumétrica seca y suelta en agregado fino y grueso, esto es la cantidad de masa por unidad de volumen ocupada por el agregado.

Formula:

$$M.V.S.S. = \frac{M}{V}$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para obtener un resultado confiable.



Tabla 29. Gravedad específica o densidad relativa saturada de los RCD.

No. de espécimen	Masa del recipiente (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del recipiente con RCD (g)	Masa del RCD (g)	M.V.S.S. (g/cm ³)
1	1840.00	2787.00	4755.00	2915.00	1.046
2	1840.00	2787.00	4730.00	2890.00	1.037
3	1840.00	2787.00	4835.00	2995.00	1.075
				Promedio	1.053

Referencia:

NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción - Agregados -Masa Volumétrica - Método de Prueba.

9.1.3.4.Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC).

Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-073-ONNCCE-2004, cuyo objetivo es determinar masa por unidad de volumen de un agregado tanto fino como grueso, siendo este el volumen el ocupado por el material en el recipiente cuando es sometido a cierto grado de compactación con varilla.

Formula:

$$M.V.S.C. = \frac{M}{V}$$

Cálculos:

Se realizaron 2 pruebas para obtener un resultado confiable.



Tabla 30. Determinación de la masa volumétrica seca compactada (MVSC) de los RCD.

No. de espécimen	Masa del recipiente (g)	Volumen del recipiente (cm ³)	Masa del recipiente con RCD (g)	Masa del RCD (g)	M.V.S.C. (g/cm ³)
1	1840.00	2787.00	4925.00	3085.00	1.107
2	1840.00	2787.00	5055.00	3215.00	1.154
				Promedio	1.130

Referencia:

NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción - Agregados -Masa Volumétrica - Método de Prueba.

9.1.3.5. Granulometría o análisis granulométrico.

Esta prueba se realizará de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-077-1997-ONNCCE, cuyo objetivo es determinar los diámetros de las partículas ya que estos deben cumplir una amplia gama de tamaños para que la cantidad de espacios entre los agregados en una mezcla, sea lo más reducida que se pueda, así como el módulo de finura para agregado fino. Estos parámetros son un indicativo de la calidad del material, esto conforme a la norma NMX-C-111-ONNCCE-2004.

Cálculos:

Este análisis se hizo por duplicado para obtener un resultado confiable.



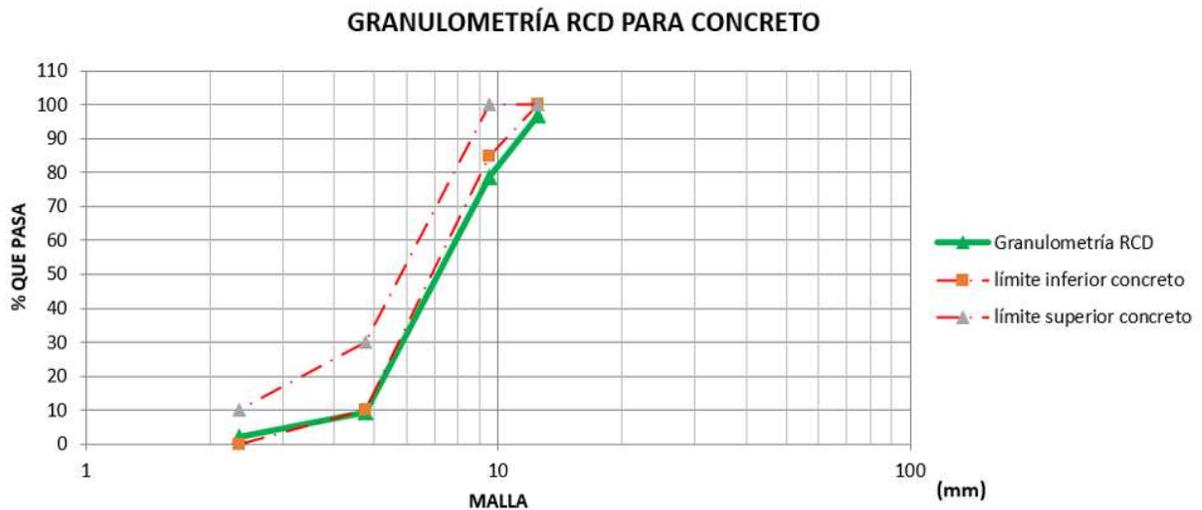
Tabla 31. Granulometría o análisis granulométrico de los RCD.

Malla		Peso Retenido	% Retenido	% Acumulado	% Que Pasa	Concreto	
Designación	Abertura (mm)					Límite Inferior	Límite superior
Ret 3/4"	19	0.00	0.000	0.000	100.000		
Ret 1/2"	12.5	90.00	3.285	3.285	96.715	100	100
Ret 3/8"	9.5	495.00	18.066	21.350	78.650	85	100
Ret No. 4	4.75	1900.00	69.343	90.693	9.307	10	30
Ret No. 8	2.36	200.00	7.299	97.993	2.007	0	10
Pasa No. 8	0	55.00	2.007	100.000	0.000	0	5

El tamaño máximo del sello es igual a 1/2"

El tamaño máximo nominal (1-15% Ret.) del sello es igual a 3/8"

Figura 20. Curva granulométrica de los RCD.



Referencia:

NMX-C-077-1997-ONNCCE. Industria de la Construcción - Agregados para Concreto - Análisis Granulométrico - Método de Prueba.



Observaciones:

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 31) se concluye que el material a penas alcanza a entrar dentro de los límites que corresponden para la elaboración del concreto como se observa en la figura 20.

9.1.4. Cemento.

9.1.4.1. Consistencia normal del cemento.

La consistencia normal es la cantidad de agua necesaria para que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato de Vicat, penetre dentro de la pasta de cemento elaborada con dicha agua, 10 mm \pm 1 mm bajo la superficie libre, durante 30 segundos después de haber iniciado la prueba.

Cálculos:

Tabla 32. Consistencia normal del cemento.

No. de espécimen	Cantidad agua (ml)	Cantidad agua (%)	Vicat (mm)
1	100	33.33	40.00
2	90	30.00	20.00
3	80	26.67	6.00
4	85	28.33	13.00
5	84	28.00	9.00
6	84	28.00	9.00

Referencia:

NMX-C-057-ONNCCE-2015. Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos - Determinación de la Consistencia Normal.



9.1.4.2. Método de Gillmore para determinar los tiempos de fraguado.

El agua requerida para la preparación de la pasta de cemento se determina por medio de sucesivos ensayos de penetración con diferentes contenidos de agua. El tiempo de fraguado se determina observando la penetración de una aguja en una pasta de cemento de consistencia normal, hasta que alcanza un valor especificado.

Cálculos:

Este análisis se hizo por duplicado para obtener un resultado confiable.

Tabla 33. Tiempos de fraguado del cemento.

Tiempo (min) Muestra 1	Tiempo (min) Muestra 2
08:29	08:43
08:59	09:13
09:29	09:43
09:59	10:13
10:29	10:43
10:59	11:13
11:29	11:43
11:59	12:13
12:29	12:43
12:59	13:13
13:29	13:43
13:59	14:13
14:29	14:43
14:59	15:13
15:29	15:43
15:59	16:13
16:29	16:43



16:59

17:29

17:13

17:43

Fraguado inicial: 4 h.

Fraguado final: 9 h.

Referencia:

Navarro L., Martínez W., Espinoza A., “ANÁLISIS DE MATERIALES”, Manual de Análisis de Materiales, Resistencia de Materiales, FIC – UMSNH, 2011

Observaciones:

El tiempo de fraguado se afecta no solo por el porcentaje y temperatura del agua empleada, y cantidad de amasado que haya recibido la pasta, sino también por la temperatura y humedad, entonces su determinación es solo aproximada.

9.1.4.3.Densidad del cemento hidráulico.

La densidad del cemento hidráulico es la relación de la masa del cemento en gramos, entre el volumen en milímetros que desplaza al introducirse en un líquido, con el cual no se efectuó reacción química alguna. Su principal utilidad está relacionada con el diseño y control de las mezclas de concreto.

Formula:

$$Densidad = \frac{M}{V} = \frac{M}{L_f - L_i}$$

Cálculos:

Este análisis se hizo por duplicado para obtener un resultado confiable.



Tabla 34. Tiempos de fraguado del cemento.

No. de espécimen	Masa del cemento (g)	Volumen del cemento inicial (g)	Volumen del cemento final (g)	Densidad (g/cm ³)
1	60.00	0.50	19.90	3.093
2	60.00	0.40	19.90	3.077
			Promedio	3.085

Referencias:

- NMX-C-152-ONNCCE-2015. Industria de la Construcción – Cemento Hidráulico - Determinación de la Densidad.
- Navarro L., Martínez W., Espinoza A., “ANÁLISIS DE MATERIALES”, Manual de Análisis de Materiales, Resistencia de Materiales, FIC – UMSNH, 2011.

9.1.5. Parámetros revisados en el agua.

El agua ocupa un papel predominante en las reacciones del cemento durante el estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido de un concreto.

El agua es utilizada para la hidratación del cemento. La hidratación del cemento es el proceso mediante el cual este material al mezclarse con el agua, reacciona y empieza a generar enlaces o estructuras cristalinas, que lo convierten en un material aglutinante. Los componentes principales del Clinker son: el silicato tricálcico (C3S), silicato dicálcico (C2S), aluminato tricálcico (C3A), ferro aluminato tetra cálcico (C4AF), óxido de magnesio (MgO), Cal libre (CAO) y sulfatos de Alcalis.

El agua usada en este estudio se obtuvo de la toma de la bloquera “TABITODO”, ubicada en la calle Marmol #73, colonia “Los Vergeles”, 58195 en Morelia, Michoacán. En la



siguiente tabla se muestran los valores máximos permisibles de acuerdo a la normativa vigente que debe cumplir cada uno de los diferentes compuestos presentes en el agua, los parámetros fueron medidos en el laboratorio de “ambiental” de la UMSNH en Morelia.

Tabla 35. Parámetros analizados en el agua.

Parámetro	Resultado	Límite Máximo NMX- C-122-ONNCCE-2004		Método de Prueba
Sólidos en Suspensión (SST mg/l)	12.0	2000	CUMPLE	NMX-AA-034-SCFI- 2001
Sólidos Totales (ST mg/l)	768.0	-----	-----	NMX-AA-034-SCFI- 2001
Total de impurezas en solución Sólidos Disueltos Totales (SDT mg/l)	756.0	3500	CUMPLE	NMX-AA-034-SCFI- 2001
Cloruros Cl-(mg/l)	68.5	400	CUMPLE	NMX-AA-073-SCFI- 2001
Sulfatos como SO₄ (mg/l)	70.0	3000	CUMPLE	NMX-AA-074-1981
Dureza Magnésica (mg/l CaCO₃)	110.3	100	NO CUMPLE	NMX-AA-072-SCFI- 2001
Dureza cálcica (mg/l CaCO₃)	99.0	-----	-----	NMX-AA-072-SCFI- 2001
Dureza Total (mg/l CaCO₃)	209.3	-----	-----	NMX-AA-072-SCFI- 2001
Carbonatos CO₃=(mg/l)	0.3	600	CUMPLE	NMX-AA-036-SCFI- 2001
Alcalinidad Total (mg/l CaCO₃)	430.0	300	NO CUMPLE	NMX-AA-036-SCFI- 2001



Alcalinidad a la Fenolftaleína (mg/l)	0.2	-----	-----	NMX-AA-036-SCFI-2001
Hidróxidos OH- (mg/l)	0.0	-----	-----	NMX-AA-036-SCFI-2001
Bicarbonatos HCO ₃ - (mg/l)	479.7	-----	-----	NMX-AA-036-SCFI-2001
Grasas o Aceites (mg/l)	0.0	0	CUMPLE	NMX-AA-005-SCFI-2000
Materia orgánica como DQO (mg/l)	7.0	150	CUMPLE	NMX-AA-030-SCFI-2015
Potencial de Hidrogeno (unidades pH)	7.2	>6	CUMPLE	NMX-AA-008-SCFI-2001
Conductividad Eléctrica (us/cm)	938.0	-----	-----	Electrométrico
Oxígeno Disuelto (mg)	3.5	-----	-----	Electrométrico
Salinidad (%)	0.5	-----	-----	Electrométrico
Cloro Total (mg/l)	0.0			Comparación colorimétrica
Cloro Libre (mg/l)	0.0	-----	-----	Comparación colorimétrica
Temperatura de Análisis (°C)	21.4	-----	-----	NMX-AA-007-SCFI-2000

Observaciones.

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 35) de la muestra de agua a la conclusión que se llega, es que no cumple con la totalidad de los parámetros de calidad establecidos en la normativa mexicana. Los parámetros en los que no cumple son en la dureza magnésica y la alcalinidad total, lo cual podría repercutir en la aceleración de la oxidación del acero si se



utilizara, también disminuir la durabilidad y resistencia del concreto y afectar en los tiempos de fraguado.

9.2. Quinta etapa (V): Pruebas a los bloques.

9.2.1. Resistencia a la compresión.

El objetivo de esta prueba es determinar el esfuerzo máximo por compresión que soporta una muestra representativa de ladrillo de arcilla recocida o prefabricados de acuerdo a las normas NMX-C-404-ONNCCE-2012 y NMX-C-441-ONNCCE-2013. Esta prueba se realizó a los 7, 14, 28, 90, 120 y 180 días para algunas mezclas. De cada muestra se probaron 5 piezas de tabicón.

Previo a las a la realización de las pruebas de resistencia a la compresión fue necesario someter las piezas a un proceso de cabeceo para dar un acabado liso para que la carga aplicada al elemento fuera uniforme, cual se detalla a continuación:

10. Se alistó el equipo y herramientas necesarias para realizar el cabeceo, con la ayuda de una báscula, nivel de mano, espátulas, mesa, cucharón, charola, cristal, hojas y un recipiente para revolver la mezcla.
11. Se realizó una mezcla de yeso-cemento a una proporción 4:1 respectivamente, para esto se pesaron los materiales con la ayuda de la báscula, charola y cucharón, y paralelamente se acomodaron los cristales y se colocaron las hojas previamente mojadas sobre la mesa.

Figura 21. Pesaje de materiales para cabeceo.



12. Se le añadió agua a la mezcla yeso-cemento hasta lograr una consistencia manejable y se fue vertiendo sobre las hojas, enseguida con la ayuda de la espátula se extendió la mezcla y se colocó el tabicón sobre la mezcla aun fresca y con el nivel de mano se verifico que la muestra de tabicón estuviera a nivel. Se dejó secar y con la ayuda de la espátula se le quito al ras de cada cara el exceso de la mezcla yeso-cemento.

Este proceso se repitió para la cara opuesta de cada pieza que sería sometida a la prueba de compresión.

13. Una vez cabeceados los especímenes se dejaron secar una semana para las edades de los 14, 28, 90 y 120 días, y para los ensayados a los 7 días solo se dejaron secar 4 días aproximadamente (figura 22).

Figura 22. Secado del cabeceo de las muestras de tabicón.





Cuando los especímenes estuvieron listos se procedió a realizar el ensaye de compresión simple, dicho proceso se describe a continuación:

1. Una vez terminado el cabeceo se coloca la probeta en la máquina universal. En la parte inferior como en la parte superior del espécimen, se colocan las placas de acero y se alinea todo el conjunto con el centro del tabicón y la carga de acero de la máquina universal.
2. Posteriormente se aplica carga en forma lenta hasta la falla de la muestra.
3. Mientras se la carga era aplicada se iba verificando que la carga fuera en aumento puesto que cuando la carga descendía se daba por terminada la prueba, lo cual indica que la probeta había alcanzado la resistencia máxima. El último valor indicado por la máquina fue la lectura que se tomó para el registro de las cargas.

Este proceso se realizó para cada una de las muestras de la etapa I a la etapa IV que se describieron en el apartado de “Diseño de mezclas”. El resultado que se obtiene de la máquina universal se refiere a la carga máxima en kilogramos que soporta cada pieza, la cual se divide entre el área de la superficie en cm² sobre la cual se aplicó la carga, de esta manera se obtiene la resistencia a la compresión en kg/cm² con la fórmula que se indica a continuación:

Fórmula:

$$F = \frac{P}{A}$$

Dónde:

F = Esfuerzo máximo a la compresión en Kgf/cm²

P = Carga máxima en Kgf.

A = Área bruta transversal del espécimen en cm²



9.2.1.1. Resultados de compresión simple.

De acuerdo a la realización de las pruebas a compresión simple obtenidos con la aplicación de la ecuación antes mencionada, las cuales arrojaron los siguientes resultados para cada una de las mezclas, se probaron 5 tabicónes para cada muestra para obtener un resultado más confiable. A continuación, se muestran un resumen del promedio de los resultados obtenidos:

Tabla 36. Promedios del ensayo a compresión de tabicónes testigo a los 7, 14, 28 y 180 días.

TABICÓN	PRUEBAS				
	7 DÍAS (kgf/cm ²)	14 DÍAS (kgf/cm ²)	28 DÍAS (kgf/cm ²)	180 DÍAS (kgf/cm ²)	% AUMENTO 180 DÍAS
TESTIGO	95.70	96.10	145.64	147.70	1.42%

Tabla 37. Promedios del ensay a compresión de tabicónes con sustitución de RCD por sello a los 7, 14, 28 y 180 días.

TABICÓN	PRUEBAS				
	7 DÍAS (kgf/cm ²)	14 DÍAS (kgf/cm ²)	28 DÍAS (kgf/cm ²)	180 DÍAS (kgf/cm ²)	% AUMENTO 180 DÍAS
15% SUST	121.31	104.47	138.74	139.87	0.82%
30% SUST	112.18	105.28	136.21	137.38	0.86%
50% SUST	126.08	117.99	150.01	152.25	1.49%
100% SUST	107.93	80.96	123.57	124.51	0.76%



Tabla 38. Promedios compresión de tabicones con sustitución de Caucho por balastre a los 7, 14, 28, 90 y 120 días.

TABICÓN	PRUEBAS						
	7 DÍAS (kgf/cm ²)	14 DÍAS (kgf/cm ²)	28 DÍAS (kgf/cm ²)	90 DÍAS (kgf/cm ²)	% AUMENTO 90 DÍAS	120 DÍAS (kgf/cm ²)	% AUMENTO 120 DÍAS
5% SUST	41.40	52.39	52.68	52.87	0.36%	52.91	0.43%
10% SUST	30.43	35.07	37.48	37.56	0.22%	37.60	0.31%
20% SUST	9.87	12.51	12.96	12.99	0.21%	13.01	0.22%

Tabla 39. Promedios compresión de tabicones con sustitución de Caucho por balastre a los 7, 14, 28, 90 y 120 días.

TABICÓN	PRUEBAS						
	7 DÍAS (kg/cm ²)	14 DÍAS (kg/cm ²)	28 DÍAS (kg/cm ²)	90 DÍAS (kg/cm ²)	% AUMENTO 90 DÍAS	120 DÍAS (kg/cm ²)	% AUMENTO 90 DÍAS
50% RCD + 5% C	31.92	34.62	41.18	41.40	0.54%	41.44	0.64%
50% RCD + 10% C	17.44	18.59	22.57	22.62	0.24%	22.65	0.34%

El tabicón de concreto convencional sometido al ensayo de compresión simple tuvo un desempeño de 145.64kg/cm² para la cual fue diseñado (tabla 36), de acuerdo con las normas NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012 los tabicones cumplen la resistencia mínima y media para uso no estructural y solamente cumplen con la resistencia mínima para uso estructural. La resistencia de los tabicones reciclados con sustitución de partículas de caucho del 5%, 10% y 20% fue de 52.68, 37.48 y 12.96 kg/cm² (tabla 38) respectivamente, por tanto, los tabicones que cumplen con alguna de las normas fueron con sustitución del 5 y 10% ya que cumplen con la resistencia mínima y media para uso no estructural (NMX-C-441-ONNCCE-2013).



Por otra parte, para los tabicones analizados con sustitución de RCD tuvieron un desempeño de 138.74, 136.21, 150.01, 123.57 kg/cm² con sustitución de 15%, 30%, 50% y 100% respectivamente (tabla 37), de acuerdo con la normativa todos cumplen con la resistencia mínima para uso estructural y solamente el tabicón elaborado con sustitución del 50% nos cumple con la resistencia promedio de la misma.

Finalmente, los resultados obtenidos de las mezclas 50% RCD+5% caucho y 50% RCD+10% caucho fueron de 41.18 y 22.57 kg/cm² respectivamente (tabla 39), por ende, solamente la mezcla 50% RCD+5% cumple con la resistencia mínima y promedio para uso estructural.

A continuación, se presentan las diferentes figuras con la comparativa de las mezclas recicladas y la mezcla testigo.

Figura 23. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-RCD.

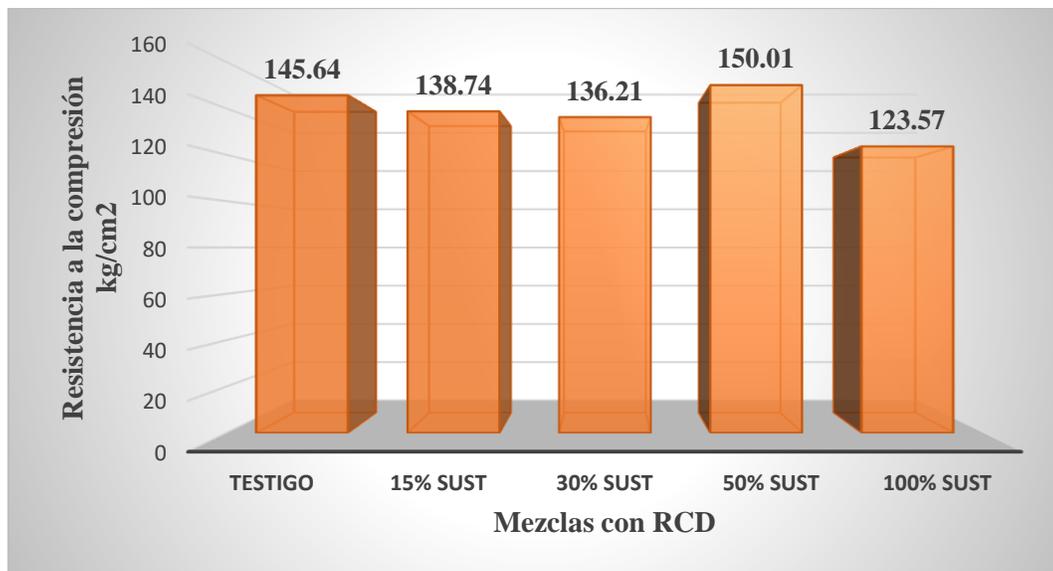
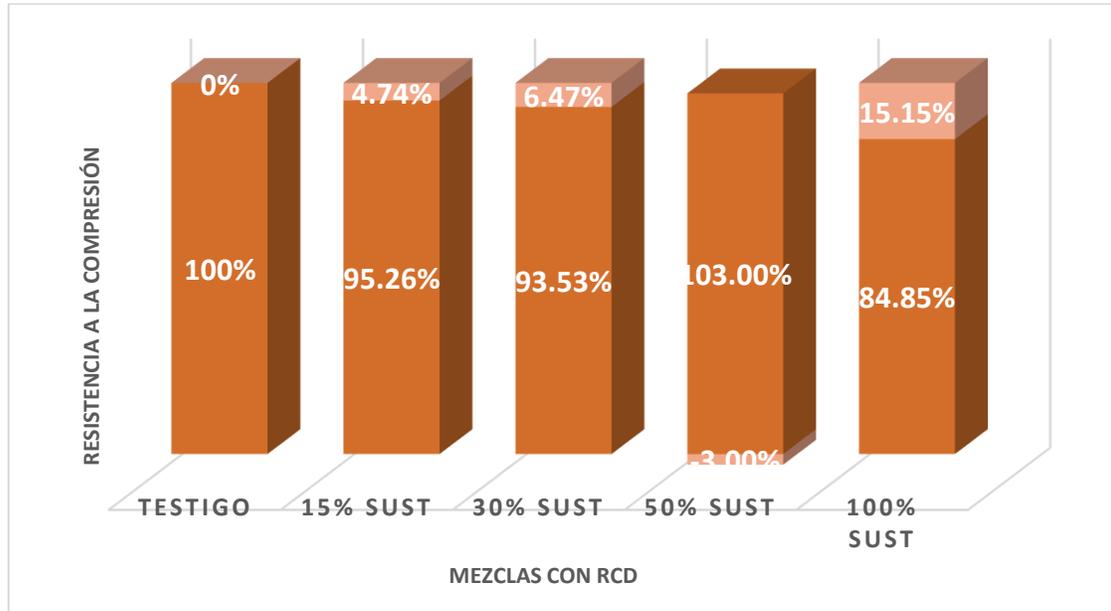


Figura 24. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-RCD en porcentaje.



Los tabicones analizados con sustitución de RCD tuvieron un desempeño de 138.74, 136.21, 150.01, 123.57 kg/cm² con sustitución de 15%, 30%, 50% y 100% respectivamente (figura 23), como se puede observar en la figura 24 la disminución de la resistencia fue de 4.74, 6.47, -3 y 15.15% por lo que podemos decir que entre mayor sea el porcentaje de sustitución, menor será la resistencia alcanzada. El aumento de la resistencia a la compresión a los 28 días del tabicón de concreto reciclado con sustitución del 50% de RCD fue del 103%, con respecto al 100% del tabicón testigo, ya que la resistencia aumentó un poco, esto pueda deberse al contenido de material fino de los RCD, por lo que se le consideró la mezcla óptima y fue la utilizada para la última fase de mezclas.

Figura 25. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-Caucho.

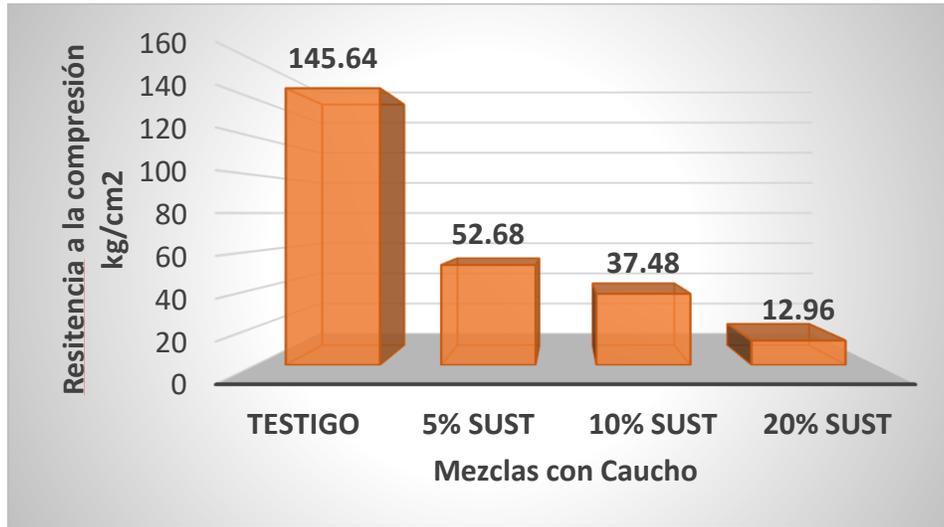
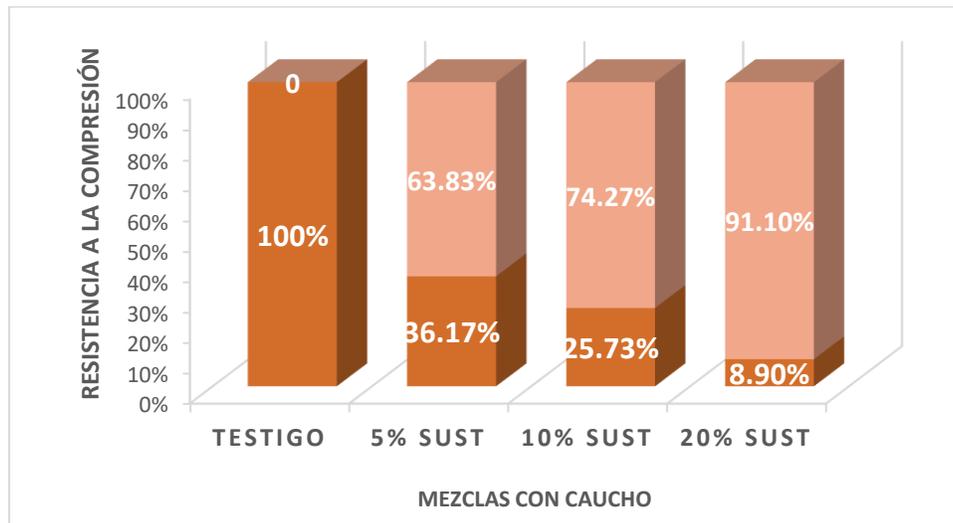


Figura 26. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-Caucho en porcentaje.



Los tabicones reciclados con sustitución de partículas de caucho del 5%, 10% y 20% fue de 52.68, 37.48 y 12.96 kg/cm² (figura 25) con una disminución de la resistencia de 63.83, 74.27 y 91.10% respectivamente (figura 26), por tanto, el tabicón de concreto reciclado utilizando el 10% de sustitución partículas de caucho es el que mejor cumple porque se encuentra dentro de la normativa mexicana y se utiliza un poco más de porcentaje de reciclados.



Para las siguientes mezclas en donde se combinan los residuos se tomó como mezcla optima la utiliza el 5% de caucho, ya que al combinarlos se disminuiría más el porcentaje de agregados naturales.

Figura 27. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-RCD+Caucho.

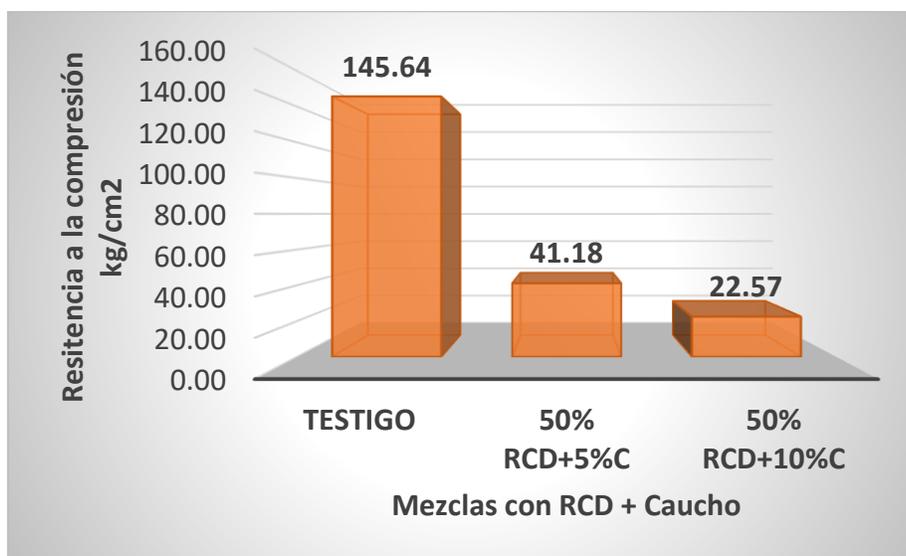
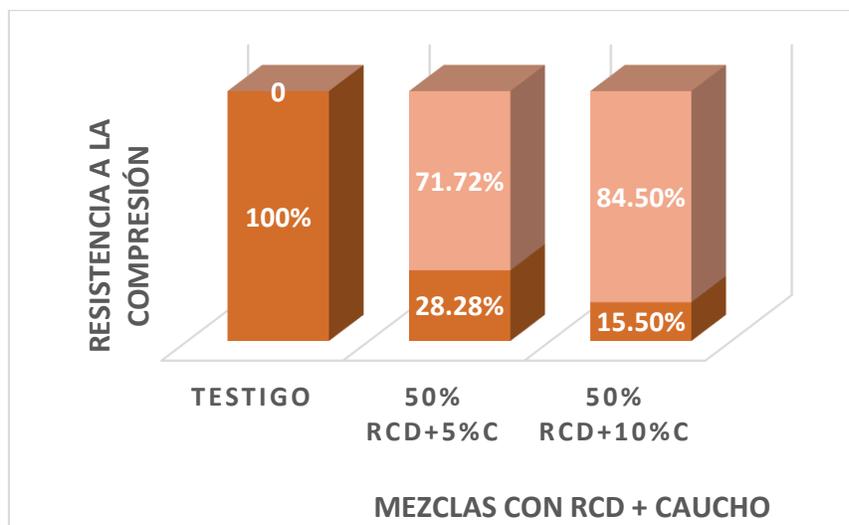


Figura 28. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión mezclas testigo-RCD+Caucho en porcentaje.





Los tabicones reciclados con sustitución de 50% RCD + 5% caucho y 50% RCD + 10% caucho tuvieron una resistencia a la compresión de 41.18 y 22.57 kg/cm² como se observa en la figura 27 con una disminución de la resistencia de 71.72 y 84.50% respectivamente (figura 28), por tanto, el tabicón de concreto reciclado utilizando el 50% RCD + 5% caucho es el que mejor cumple porque se encuentra dentro de la normativa mexicana y en total hay una sustitución de agregados naturales de un 55%.

9.2.1.2. Comparativa de compresión simple entre tabicones testigo y tabicones reciclados.

Figura 29. Comparativa de resultados del ensaye de resistencia a la compresión de todas las mezclas.



— Límite para uso estructural

— Límite para uso no estructural

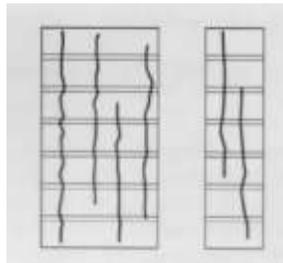
La figura 29 muestra un resumen donde se comparan todas las mezclas realizadas en esta investigación, las líneas en amarillo muestran los límites mínimos y promedios que debe resistir un tabicón macizo a los 28 días para uso no estructural, y las líneas en color naranja muestran los límites mínimos y promedio que debe resistir el tabicón, pero para uso estructural. Como se puede observar en la figura los tabicones elaborados con RCD tienen el mejor desempeño que las otras mezclas con reciclados; también se puede observar que cuando se le incorpora caucho a la mezcla estas bajan considerablemente la resistencia. De las 10 mezclas fabricadas 8 nos cumplen con la resistencia mínima promedio para uso no estructural según la normativa.

9.2.2. Mecanismo de falla de tabicones sujetos a compresión.

De acuerdo a la norma NMX-C-464-ONNCCE-2010 los modos de falla que puede presentarse en un espécimen son:

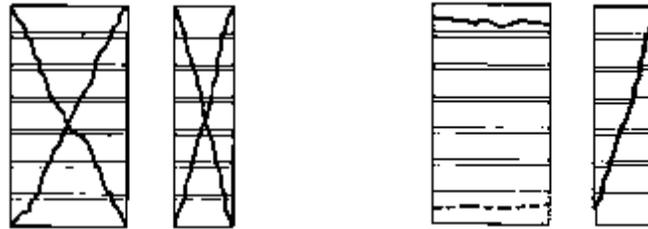
- a) **Falla por agrietamiento vertical.** Este tipo de falla es el más común producido por la diferencia de deformabilidad transversal entre la capa de mortero y las piezas, generándose esfuerzos de tensión en estas últimas, en piezas huecas puede darse la separación de las caras.

Figura 30. Falla por agrietamiento vertical.



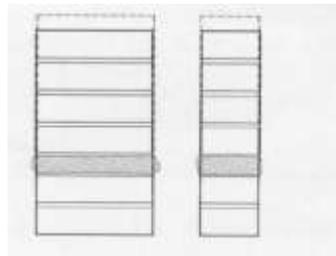
- b) y c) **Falla cónica (piramidal) o Falla por cortante.** Son análogas a las fallas cónicas de cilindros de concreto y se forman cuando los dos materiales están bien integrados, existe alta adherencia o trabazón entre mortero y pieza y no hay diferencia de deformabilidad transversal importante entre los materiales.

Figura 31. Falla cónica (piramidal) o Falla por cortante.



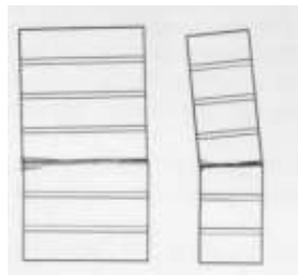
- a) **Aplastamiento local.** Puede ocurrir por una inusual debilidad de dicha pieza.

Figura 32. Aplastamiento local.



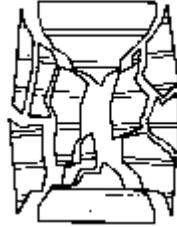
- b) **Falla por flexión.** Puede ocurrir si hay alguna debilidad local en un lado de alguna junta y/o hay falta de verticalidad del eje de la probeta o de alineación en el centro de la placa de carga.

Figura 33. Falla por flexión.



- c) **Falla explosiva.** Puede generarse en piezas de alta resistencia de paredes relativamente delgadas y con buena adherencia o trabazón del mortero con las piezas, como el caso de piezas extruidas multiperforadas.

Figura 34. Falla explosiva.



Los modos de falla que se presentaron en los tabicones son:

Para los tabicones elaborados con sustitución de RCD el tipo de falla que mejor describe el comportamiento del tabicón es la falla por agrietamiento vertical ya que la mayoría de los tabicones presentaron desprendimiento de las caras laterales y muy pocos solamente se agrietaron (figura 35).

Los tabicones que fueron sustituidos solamente por caucho el modo de falla que presentaron los tabicones fue por aplastamiento local de las piezas (figura 36), la cual se debe a la baja calidad de resistencia de la pieza, se pudo observar que las piezas antes de fallar parecían como si se inflaran y después fallaban. Este mismo comportamiento lo tuvieron los tabicones elaborados con RCD y caucho (figura 37).

Figura 35. Mecanismo de falla de los tabicones elaborados con RCD.

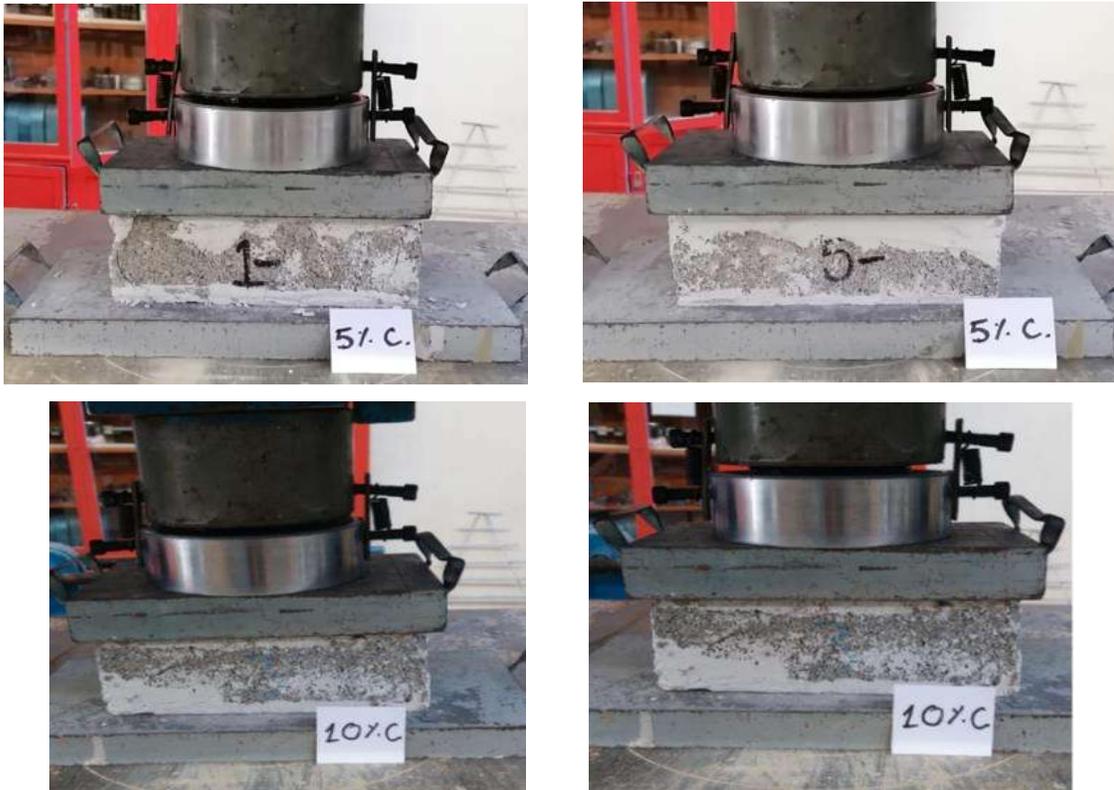




Figura 36. Mecanismo de falla de los tabicones elaborados con caucho.



Figura 37. Mecanismo de falla de los tabicones elaborados con RCD+caucho.



9.2.3. Humedad Actual.

El objetivo de esta prueba es determinar el porcentaje de humedad que contiene una muestra representativa de un tabicón tal y como se encuentra en estado natural.

Fórmula:

$$\%H. Act. = \frac{M_i - M_f}{M_f}$$

Cálculos:

Se realizaron 3 pruebas para cada muestra para obtener un resultado confiable.

Tabla 40. Promedios de humedad actual de tabicones con sustitución de RCD

Tabicón	Humedad actual (%)
Testigo	6.87
15% sust	6.25
30% sust	7.96
50% sust	6.07
100% sust	9.14

9.2.4. Absorción total en tabicones.

El objetivo de esta prueba es conocer el porcentaje de agua que puede absorber un tabicón durante un tiempo de 24 horas con respecto a su masa seca, con base en la norma NMX-C-037-ONNCCE-2013. Esta prueba se realizó para cada una de las mezclas tomando un promedio de 3 probetas por cada una. El proceso realizado se describe a continuación:

1. Se enumeraron las muestras para identificarlas y enseguida se metieron al horno por un lapso de tiempo de 24 hrs \pm 2hrs a una temperatura de 105° C como se muestra en la figura 38.

Figura 38. Muestras colocadas en el horno para el ensaye de absorción.



- Una vez transcurrido ese tiempo, se sacaron las muestras del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente y posteriormente determinar su masa seca (MS) con la ayuda de la báscula como se observa en la figura 39.

Figura 39. Pesaje de las muestras de tabicón para determinar su masa.



- Enseguida se procede a saturar las muestras sumergiéndolas completamente en un recipiente durante un tiempo de 24 h (figura 40).

Figura 40. Sumersión del tabicón.





4. Al cabo de ese tiempo se sacan las muestras y se secaron superficialmente con un trapo para determinar su masa saturada y superficialmente seca en la báscula.

Fórmula:

$$A = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} \times 100$$

Dónde:

A = Absorción en porcentaje % en masa.

M_{sss} = Masa saturada y superficialmente seca en g.

M_s = Masa seca de la muestra en g.

Resultados

Se realizaron 3 pruebas para cada muestra para obtener un resultado confiable.

Tabla 41. Promedios de absorción de tabicones testigo

Tabicón	Absorción (%)
Testigo	6.18%

Tabla 42. Promedios de absorción de tabicones con sustitución de RCD,

Tabicón	Absorción (%)
15% sust	6.51%
30% sust	6.50%
50% sust	5.60%
100% sust	10.46%



Tabla 43. Promedios de absorción de tabicónes con sustitución de Caucho.

Tabicón	Absorción (%)
5% sust	12.34 %
10% sust	13.29 %
20% sust	14.13 %

Tabla 44. Promedios de absorción de tabicónes con sustitución de RCD + Caucho.

Tabicón	Absorción (%)
50% RCD + C	13.63 %
50% RCD + C	11.33 %

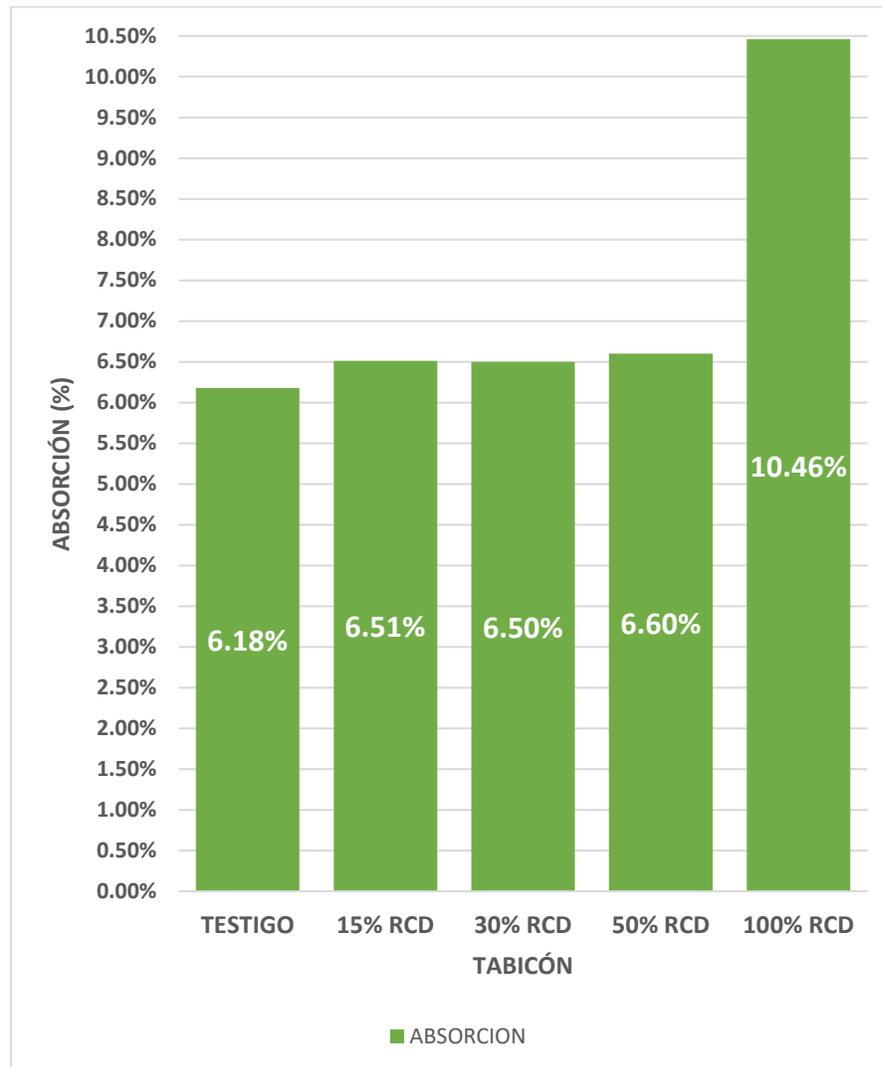
El tabicón de concreto convencional sometido al ensayo de absorción total en 24 horas tuvo un desempeño de 6.18% (tabla 41), de acuerdo con las normas NMX-C-441-ONNCCE-2013 y NMX-C-404-ONNCCE-2012 por lo que los tabicónes se encuentran dentro del límite máximo para uso estructural y no estructural. La absorción de los tabicónes reciclados con sustitución de partículas de caucho del 5%, 10% y 20% fue de 12.34, 13.29 y 14.13% (tabla 43) respectivamente, por tanto, los tabicónes en su totalidad cumplen con la absorción para uso estructural y no estructural.

Por otra parte, para los tabicónes analizados con sustitución de RCD tuvieron un desempeño de 6.51, 6.50, 6.60 y 10.46% con sustitución de 15%, 30%, 50% y 100% respectivamente (tabla 42), de acuerdo con la normativa todos cumplen con el límite máximo de absorción para uso estructural y no estructural.

Finalmente, los resultados obtenidos de las mezclas 50% RCD+5% caucho y 50% RCD+10% caucho fueron de 13.63 y 11.33% respectivamente, por ende, las dos mezclas cumplen con la normativa antes mencionada (tabla 44).



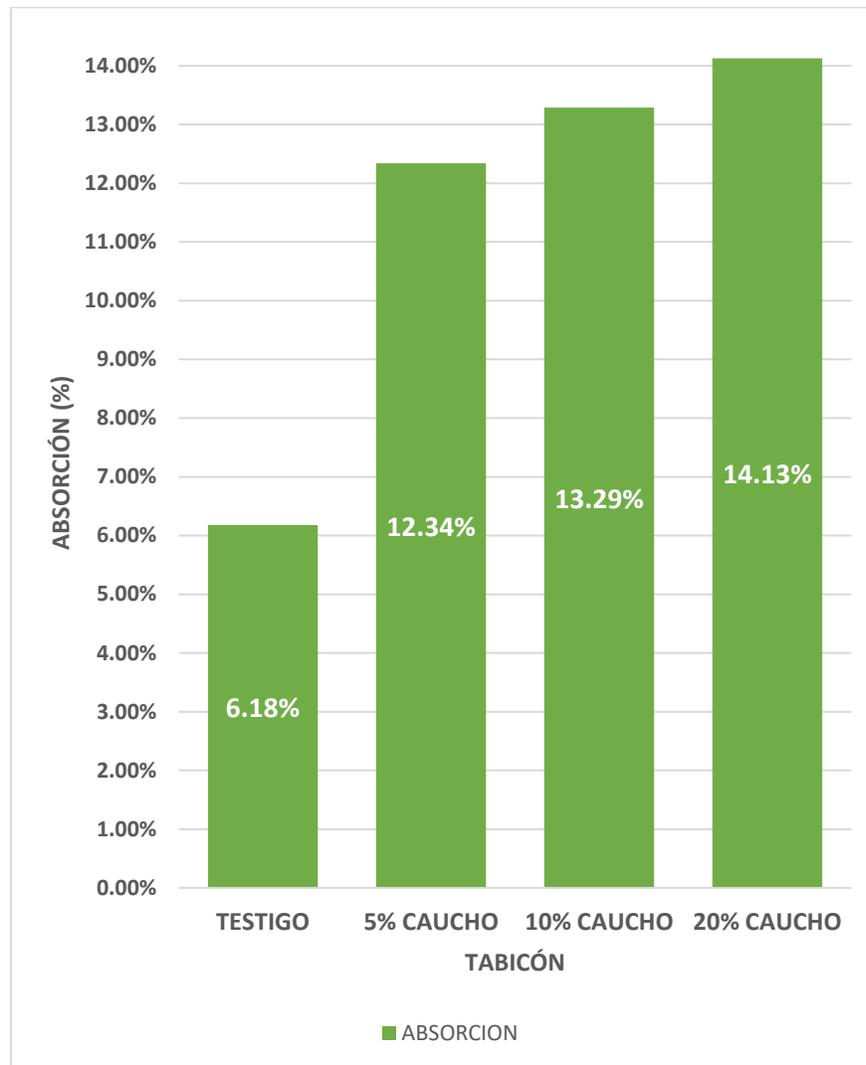
Figura 41. Comparativa de resultados del ensaye de absorción total en 24h en mezclas testigo-RCD.



Los tabicones analizados con sustitución de RCD tuvieron una absorción de 6.51, 6.50, 6.60 y 10.46% con sustitución de 15%, 30%, 50% y 100% respectivamente (figura 41), como se puede observar en la figura el aumento de la absorción fue de 5.34, 5.18, 6.80 y 69.26% por lo que podemos decir que entre mayor sea el porcentaje de sustitución, mayor será el porcentaje de absorción total. El tabicón que mejor comportamiento tuvo frente a este cambio fue el tabicón de concreto reciclado con sustitución del 30% de RCD con un aumento del 5.18%, con respecto al 100% del tabicón testigo, por lo que se le considero la mezcla con mejor comportamiento, pero no la mezcla óptima para fines de esta investigación. La mezcla optima fue la mezcla

sustituida con el 50% de RCD ya que el valor no varía mucho con la sustituida con el 30% y hay un mayor porcentaje de residuos reciclados y por ende fue la mezcla optima utilizada para la última fase de mezclas.

Figura 42. Comparativa de resultados del ensaye de absorción total en 24h en mezclas testigo-Caucho.



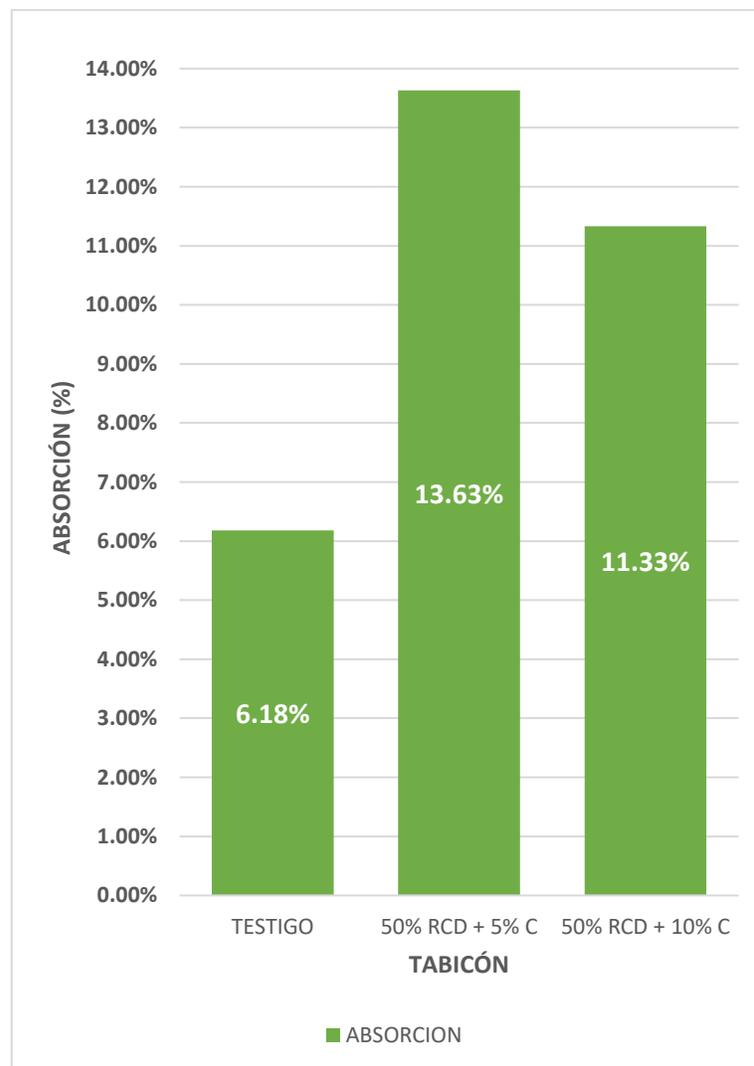
Los tabicones reciclados con sustitución de partículas de caucho del 5%, 10% y 20% fue de 12.34, 13.29 y 14.13% con un aumento de la absorción total de 99.68, 115.05 y 128.64% respectivamente (figura 42), por tanto, el tabicón de concreto reciclado utilizando el 20% de



sustitución de partículas de caucho es el que mejor cumple porque se encuentra dentro de la normativa mexicana y se utiliza mayor porcentaje de reciclados.

Para las siguientes mezclas en donde se combinan los residuos se tomó como mezclas óptimas la que utilizan el 5 y 10% de caucho para tener una comparativa, ya que entre menos sea el porcentaje de sustitución menor será la absorción.

Figura 43. Comparativa de resultados del ensaye de absorción total en 24h en mezclas testigo-RCD+Caucho.

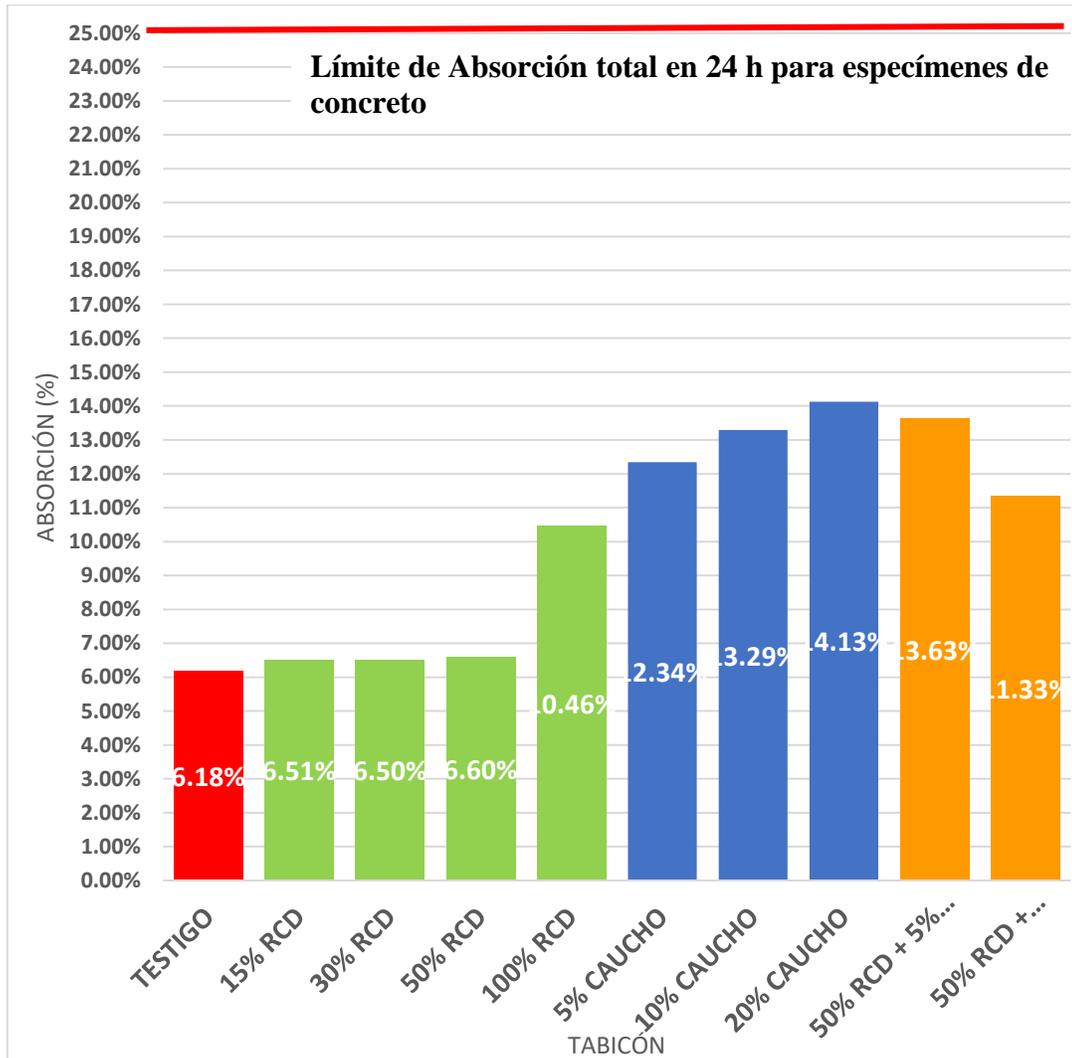




Los tabicones reciclados con sustitución de 50% RCD + 5% caucho y 50% RCD + 10% caucho una absorción total de 13.63 y 11.33% con un aumento de la absorción de 120.55 y 83.33% respectivamente (figura 43), por tanto, el tabicón de concreto reciclado respecto a sus resultados utilizando el 50% RCD + 10% caucho es el que mejor cumple porque se encuentra dentro de la normativa mexicana y en total hay una mayor sustitución de agregados naturales.

9.2.4.1. Comparativa de humedad de absorción entre tabicones testigo y tabicones reciclados.

Figura 44. Comparativa de resultados del ensaye de absorción total en 24 horas de todas las mezclas en porcentaje.





La figura 44 demuestra un resumen donde se contraponen todos los resultados del ensaye de absorción total en 24 horas de las mezclas ejecutadas en esta investigación, la línea en rojo simboliza el límite máximo que debe cumplir un tabicón macizo a los 28 días para uso estructural y no estructural. Como se puede observar en la figura todos los tabicones acatan la norma ya que todos están por debajo del límite máximo para espécimen elaborados de concreto.

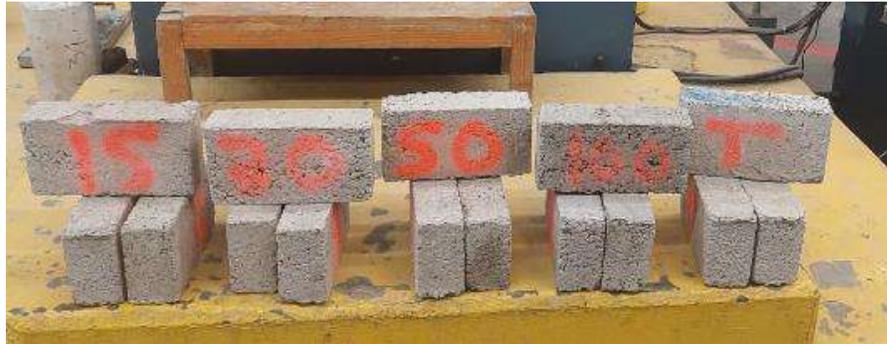
Los especímenes elaborados con RCD tienen el mejor desempeño comparado con las otras mezclas con reciclados, lo que hace denotar que entre más RCD contenga la mezcla mayor será la absorción, se podría decir que estos tienen un comportamiento similar al tabicón testigo siempre y cuando el porcentaje de sustitución no rebase el 50%; al sustituir el 100% de RCD el tabicón tiene un comportamiento similar a los tabicones sustituidos con caucho. Por otra parte, se observa que cuando se le incorpora caucho a la mezcla la absorción aumenta todavía más casi en un 50% tomando en cuenta el valor del tabicón testigo, por lo tanto, entre menos sea el porcentaje de sustitución de caucho por el agregado natural menor será la absorción. De las mezclas fabricadas con RCD y caucho se puede concluir que de acuerdo a la absorción obtenida la que mejor comportamiento tuvo fue la de 50% RCD + 10% caucho porque tuvo una menor absorción, esto es ocasionado por la granulometría ya que esta mezcla contenía más porcentaje de finos y ligado a que se obtuvo una mezcla más homogénea, lo cual podría permitir que al momento de vibro compactar el material este se acomodara de mejor manera eliminando poros en la fabricación de los tabicones.

9.2.5. Flexión Estática.

El objetivo de esta prueba es determinar la resistencia a la flexión o módulo de ruptura que soporta un tabicón, para este ensaye se probaron 3 especímenes por cada una de las mezclas y se obtuvo un promedio. El procedimiento realizado se describe a continuación:

1. Se enumeraron las muestras y se determinaron sus dimensiones reales como se muestra en la figura 45.

Figura 45. Muestras de tabicón para flexión estática.



2. Enseguida, se marcaron las muestras con una línea al centro y otra a cada extremo a 2.5 centímetros (1") de la orilla tal y como se percibe en la figura 46.

Figura 46. Preparación de la muestra para el ensaye flexión estática.



3. Después, se colocaron las muestras en la máquina universal, revisando que las cuchillas estén en las líneas marcadas en la orilla y en el centro de cada espécimen.
4. Posteriormente se niveló la máquina y se ajustó.
5. Finalmente, se les aplicó carga en forma lenta y continua hasta la falla de la muestra, esto se puede observar en la figura 47, 48 y 49.

Figura 47. Ensayo de Flexión estática para determinación del MR de tabicones elaborados con RCD.



Figura 48. Ensayo de Flexión estática para determinación del MR de tabicones elaborados con caucho.

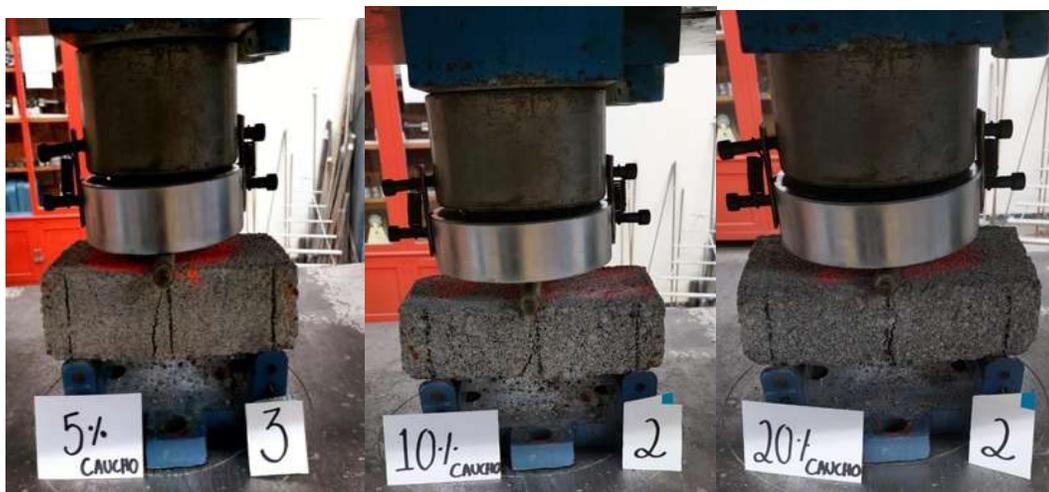


Figura 49. Ensayo de Flexión estática para determinación del MR de tabicónes elaborados con RCD + caucho.



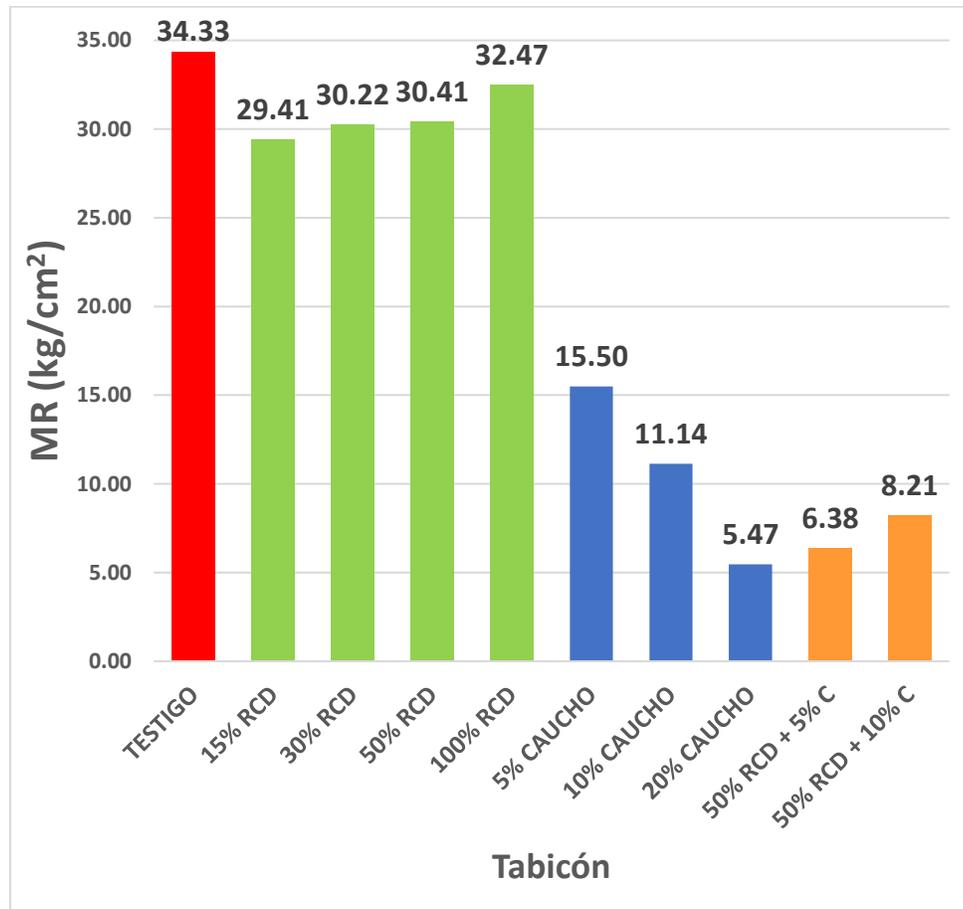
Resultados

Tabla 45. Promedios de MR de las mezclas de tabicón.

TABICÓN	Promedio MR (kg/cm ²)
TESTIGO	34.33
15% RCD	29.41
30% RCD	30.22
50% RCD	33.07
100% RCD	32.47
5% CAUCHO	15.50
10% CAUCHO	11.14
20% CAUCHO	5.47
50% RCD + 5% C	6.38
50% RCD + 10% C	8.21

9.2.5.1. Comparativa de flexión estática entre tabicones testigo y tabicones reciclados.

Figura 50. Comparativa de resultados del ensaye de MR de todas las mezclas.



El módulo de ruptura está relacionado con la capacidad de deformación por flexión del concreto. Al comparar la mezcla testigo con los resultados de los tabicones fabricados con RCD se observa que el comportamiento de los tabicones es similar al del tabicón testigo. Se distingue que el MR aumenta conforme aumenta el porcentaje de sustitución de RCD (figura 50).

Al comparar la muestra testigo con los tabicones sustituidos con caucho se observa que el valor disminuye un poco más del 50% en comparativa con el tabicón testigo, denotando que la resistencia a la ruptura disminuye acorde aumenta el porcentaje de sustitución, por lo tanto, la mejor mezcla para las muestras con caucho es la sustituida con el 5%.

Por otro lado, al hacer la comparativa de las muestras de 50% RCD+5% caucho y 50% RCD+10% y la muestra testigo se puede observar que cuando se combinan estos dos residuos la resistencia a la ruptura es mayor cuando el porcentaje de caucho es más alto.

9.2.6. Resistividad Eléctrica

El objetivo del ensaye fue medir la resistencia eléctrica por medio del método directo utilizando el equipo Resistómetro como se observa en la figura 54. Este ensaye describe la dificultad que encuentra la corriente eléctrica al pasar a través del material, esta se llevó a cabo siguiendo la norma NMX-C-514-ONNCCE-2016 para cada una de las mezclas, se utilizaron 3 especímenes para cada una. El proceso ejecutado se describe a continuación:

1. Se marcan y enumeran los especímenes (figura 51) para después ponerlos a saturar, enseguida se sacan los especímenes del agua.

Figura 51. Muestras de tabicón para resistividad eléctrica.



2. Enseguida, se miden las caras donde se medirá la resistividad para obtener el área.
3. Se colocaron 2 toallas húmedas en cada cara y se colocan las placas de extremo a extremo, para esto se les coloca un objeto pesado para que haga contacto la placa con el espécimen (figura 52).

Figura 52. Preparación de muestras de tabicón para resistividad eléctrica.



4. Por último, se colocan los electrodos y se mide la Resistencia en Ohms (figura 53).

Figura 53. Muestras de tabicón para resistividad eléctrica.



Figura 54. Resistómetro para obtener la resistencia eléctrica (Ohms).





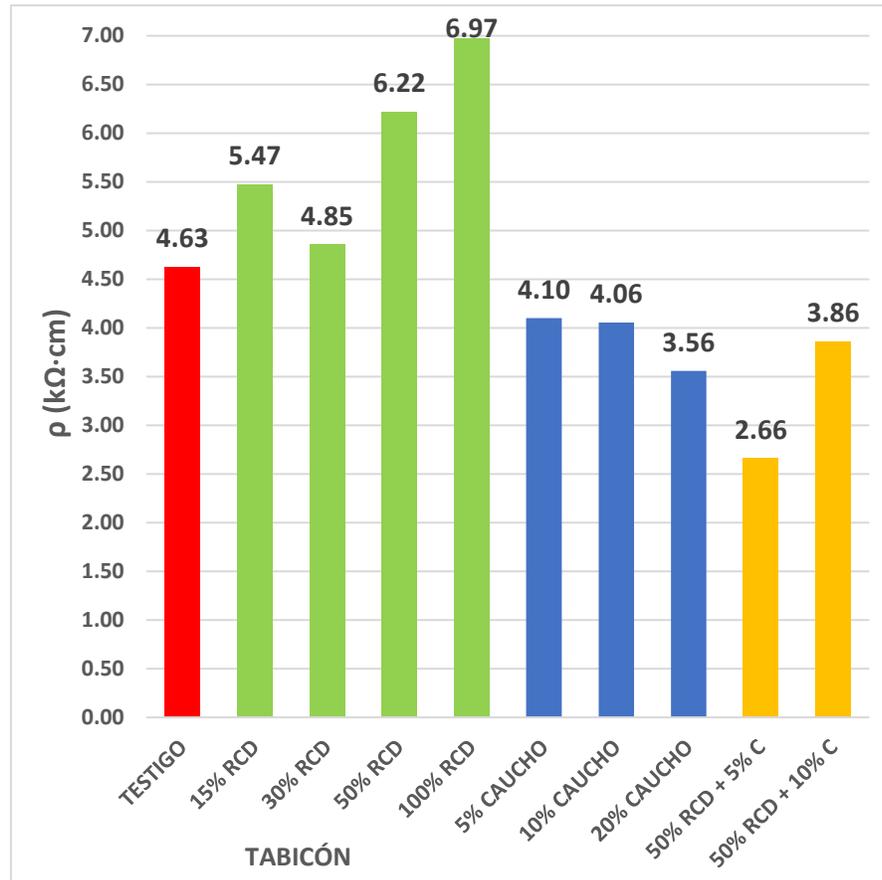
Tabla 46. Resultados promedios de Resistividad eléctrica.

TABICÓN	PROMEDIO ρ ($k\Omega \cdot cm$)
TESTIGO	4.63
15% RCD	5.47
30% RCD	4.85
50% RCD	6.22
100% RCD	6.97
5% CAUCHO	4.10
10% CAUCHO	4.06
20% CAUCHO	3.56
50% RCD + 5% C	2.66
50% RCD + 10% C	3.86



9.2.6.1. Comparativa de Resistividad eléctrica entre tabicones testigo y tabicones reciclados.

Figura 55. Comparativa de resultados del ensaye de Resistividad eléctrica de todas las mezclas.



De acuerdo a la norma y a los resultados obtenidos (tabla 46), se pueden clasificar todos los resultados bajo el criterio de que todos los valores de resistividad son menores a <10 $k\Omega\cdot cm$ que, de acuerdo a la norma corresponde a un valor que indica que las velocidades de corrosión del acero son muy altas, por lo tanto, la porosidad interconectada es excesiva. En nuestro caso, no se usa el acero ya que nuestra mezcla es utilizada en la elaboración de tabicones por lo que solo nos regiremos bajo el parámetro de que la porosidad interconectada es excesiva. Conforme a la figura 55 se observa que los tabicones fabricados con RCD tienen una resistividad más alta que la mezcla testigo, lo que denota es que estos tabicones tienen menor porosidad, por consiguiente, entre mayor sea el porcentaje de RCD menor será la porosidad, pasó lo contrario



en los especímenes donde solo se le agregan las partículas de caucho, entre mayor sea el porcentaje de caucho el valor de la resistividad eléctrica será menor, por consecuencia la porosidad es mayor. Pasó algo muy diferente en los tabicones construidos con RCD más caucho en comparación a los tabicones solo elaborados con caucho, ya que entre mayor sea el porcentaje de caucho la resistividad aumenta, por lo que el valor de la porosidad de esta mezcla es menor. Todo esto denota que los RCD ayudan a mejorar la durabilidad del tabicón, una microestructura densa proporciona una mejor durabilidad en comparación con la microestructura porosa.

9.2.7. Módulo de elasticidad Estático.

El objetivo de este ensaye es determinar el módulo de elasticidad estático en cilindros de concreto, el cual es un indicativo de la rigidez de un material, para esta prueba se fabricaron cilindros de 4 de las mezclas de tabicones las cuales se escogieron de acuerdo a las que tuvieron mejores resultados; se aplicó para los tabicones testigo, con sustitución de RCD en un 50%, tabicones con 50% de sustitución de RCD más 5% de partículas de caucho y 50 % sustitución de RCD más 10% de caucho. Se elaboraron 12 cilindros por cada una de las mezclas, se usaron 4 para probarlos a los 7 días, otros 4 se probaron a los 14 días y los últimos 4 se probaron a los 28 días, es decir que con 1 cilindro se determinó la resistencia a compresión y en los 3 restantes el módulo de elasticidad y relación de Poisson para cada edad y mezcla. El proceso ejecutado se describe a continuación:

1. Primero, se elige la edad en días a la que se quiera conocer el módulo de elasticidad y la relación de Poisson. Ejemplo a los 7 días.
2. Luego se sacan los cilindros de la pila de curado (4 cilindros por mezcla). Se determino el volumen con el diámetro y longitud de los 3 cilindros que se les determino el módulo de elasticidad y relación de Poisson
3. El espécimen destinado para la compresión se probó y se determinó su carga (kg) y después se determinó el su esfuerzo a la ruptura (kg/cm^2).



4. A los especímenes designados para el módulo de elasticidad se les colocan los anillos para nivelar en ensaye longitudinal y transversalmente y se coloca el deformímetro. La carga correspondiente a una deformación unitaria longitudinal; estas se tomaron a cada 50 millonésimas.
5. Una vez colocado en ceros se pone a andar la máquina a una velocidad de carga y le aplicamos un ciclo de carga al cilindro para ajustar los deformímetros.
6. Previamente calculada la carga correspondiente al 40 % del esfuerzo de ruptura del concreto, se inicia el segundo ciclo determinado la carga y el esfuerzo y la deformación unitaria transversal correspondiente a la deformación unitaria longitudinal de 50 millonésima registrándolos como S1 y a T.

Se determinan las deformaciones unitarias correspondiente hasta cuando la carga llegue al 40 % de resistencia de concreto y se registran como: S, a, ya, r

7. Regresa nuevamente a cero y se inicia el tercer ciclo obteniendo los resultados de las mismas variables.
8. Se promedian los resultados de los dos ciclos respectivamente y estos datos nos ayudan a calcular nuestro objetivo.
9. Cálculo. El cálculo del módulo de elasticidad y la relación de Poisson se pueden determinar como:

Fórmula:

$$E = \frac{S2 - S1}{\sigma - 0.00005}$$

Dónde:

E = módulo de elasticidad secante en kg/cm²



S2 = esfuerzo correspondiente al 40 % de la resistencia.

S1 = esfuerzo correspondiente a una deformación unitaria longitudinal de 50 millonésimas en kg/cm²

σ_1 = deformación unitaria longitudinal producida por S2.

Resultados:

Tabicones testigo.

Tabla 47. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla testigo a los 7 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	100.00	78.54	1.27	0.000025
0.010	170.00	78.54	2.16	0.00005
0.015	226.00	78.54	2.88	0.000075
0.020	268.00	78.54	3.41	0.0001
0.025	330.00	78.54	4.20	0.000125
0.030	358.00	78.54	4.56	0.00015
0.035	388.00	78.54	4.94	0.000175
0.040	415.00	78.54	5.28	0.0002
0.045	433.00	78.54	5.51	0.000225
0.050	450.00	78.54	5.73	0.00025
0.055	482.00	78.54	6.14	0.000275
0.060	507.00	78.54	6.46	0.0003
0.065	522.00	78.54	6.65	0.000325
0.070	533.00	78.54	6.79	0.00035
0.075	540.00	78.54	6.88	0.000375
0.080	550.00	78.54	7.00	0.0004
0.085	568.00	78.54	7.23	0.000425
0.090	579.00	78.54	7.37	0.00045
0.095	594.00	78.54	7.56	0.000475

Figura 56. Grafica esfuerzo – deformación mezcla testigo a los 7 días.

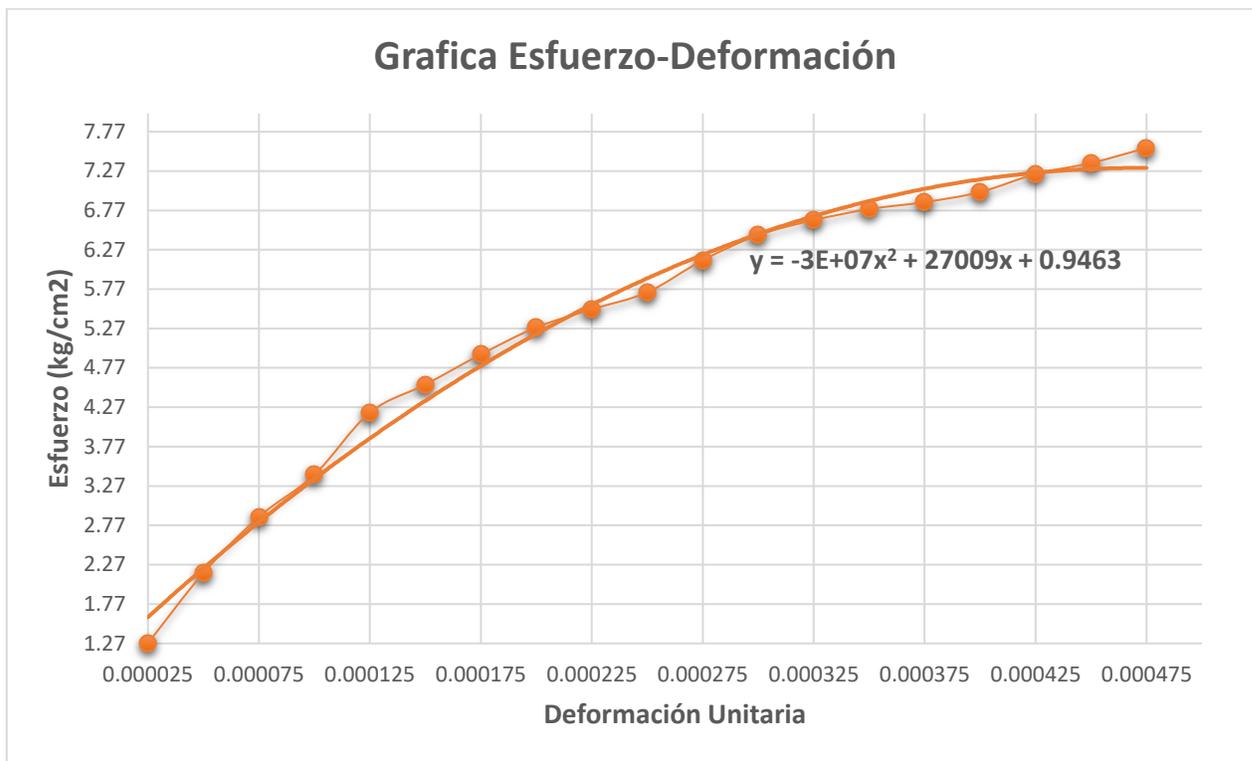


Tabla 48. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla testigo a los 14 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm²)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Unitaria
0.005	148.00	78.54	1.88	0.000025
0.010	228.00	78.54	2.90	0.00005
0.015	310.00	78.54	3.95	0.000075
0.020	356.00	78.54	4.53	0.0001
0.025	423.00	78.54	5.39	0.000125
0.030	452.00	78.54	5.76	0.00015
0.035	498.00	78.54	6.34	0.000175
0.040	526.00	78.54	6.70	0.0002
0.045	555.00	78.54	7.07	0.000225
0.050	568.00	78.54	7.23	0.00025
0.055	588.00	78.54	7.49	0.000275



0.060	605.00	78.54	7.70	0.0003
0.065	626.00	78.54	7.97	0.000325
0.070	638.00	78.54	8.12	0.00035
0.075	654.00	78.54	8.33	0.000375
0.080	665.00	78.54	8.47	0.0004
0.085	673.00	78.54	8.57	0.000425
0.090	682.00	78.54	8.68	0.00045
0.095	689.00	78.54	8.77	0.000475
0.100	697.00	78.54	8.87	0.0005

Figura 57. Grafica esfuerzo – deformación mezcla testigo a los 14 días.

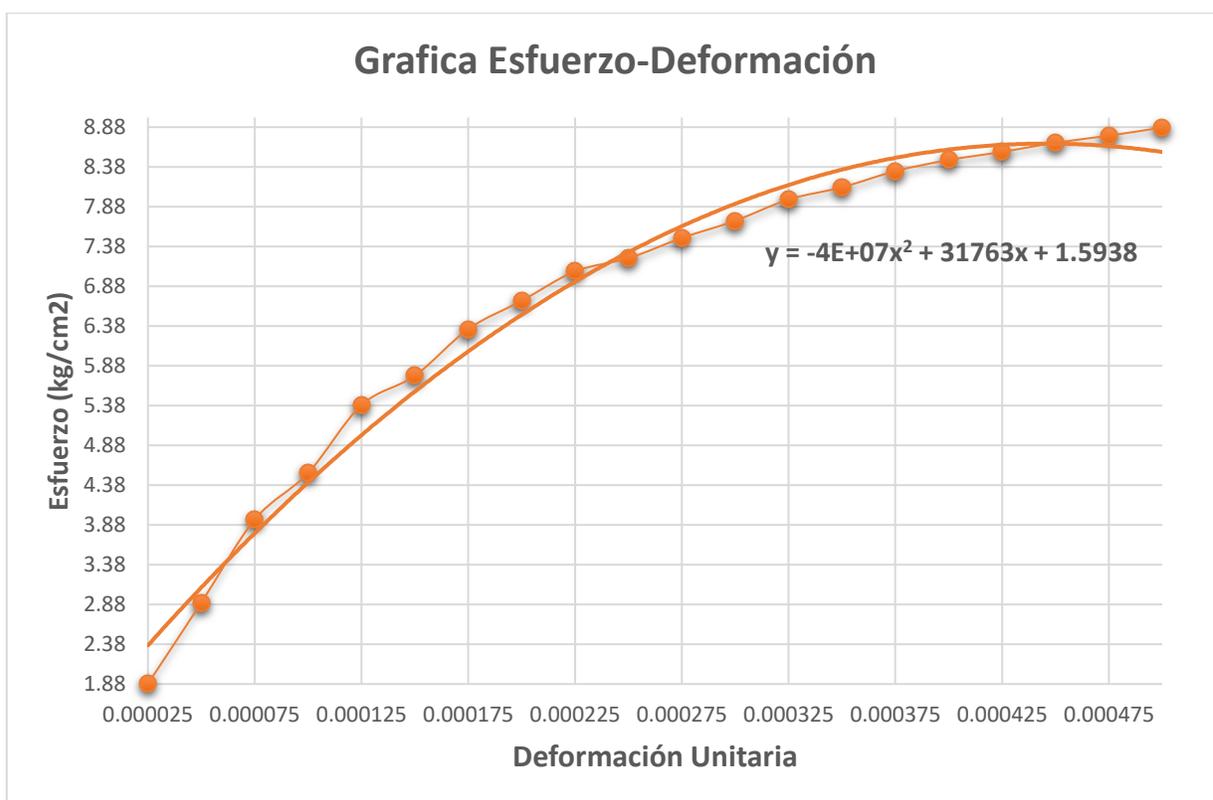


Tabla 49. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla testigo a los 28 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	172.00	78.54	2.19	0.000025
0.010	235.00	78.54	2.99	0.00005



0.015	308.00	78.54	3.92	0.000075
0.020	361.00	78.54	4.60	0.0001
0.025	433.00	78.54	5.51	0.000125
0.030	469.00	78.54	5.97	0.00015
0.035	523.00	78.54	6.66	0.000175
0.040	543.00	78.54	6.91	0.0002
0.045	580.00	78.54	7.38	0.000225
0.050	602.00	78.54	7.66	0.00025
0.055	641.00	78.54	8.16	0.000275
0.060	662.00	78.54	8.43	0.0003
0.065	692.00	78.54	8.81	0.000325
0.070	715.00	78.54	9.10	0.00035
0.075	731.00	78.54	9.31	0.000375
0.080	745.00	78.54	9.49	0.0004
0.085	759.00	78.54	9.66	0.000425
0.090	772.00	78.54	9.83	0.00045
0.095	787.00	78.54	10.02	0.000475

Figura 58. Grafica esfuerzo – deformación mezcla testigo a los 28 días.

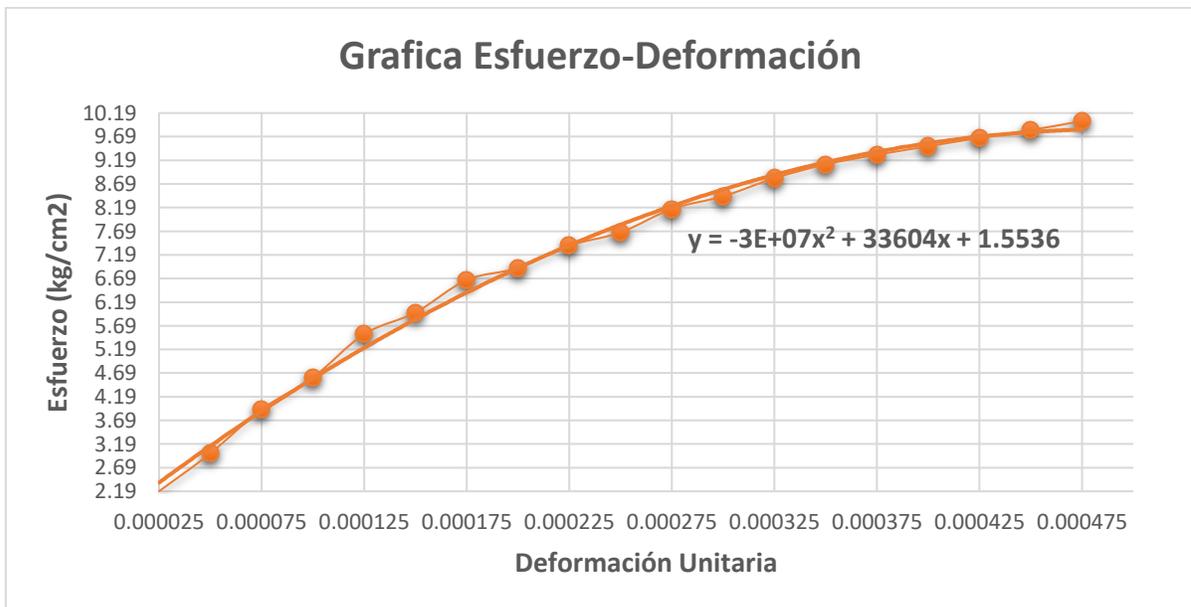




Tabla 50. Resultados promedio ensaye módulo de elasticidad mezcla testigo a los 7, 14 y 28 días.

PRUEBA	PROMEDIO
	E (kg/cm ²)
7 DÍAS	21862.73
14 DÍAS	23329.47
28 DÍAS	26174.63

De acuerdo a los resultados obtenidos del ensaye de la mezcla testigo a los 7, 14 y 28 días se observa (tabla 50) que el módulo de elasticidad crece conforme mayor es la edad por lo que se concluye que el material se vuelve más rígido conforme pasa el tiempo. Las gráficas esfuerzo-deformación las podemos observar en las figuras 56, 57 y 58 al igual que las tablas (47, 48 y 49) con las que graficaron.

Tabicones 50% RCD.

Tabla 51. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD a los 7 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	145.00	78.54	1.85	0.000025
0.010	187.00	78.54	2.38	0.00005
0.015	226.00	78.54	2.88	0.000075
0.020	245.00	78.54	3.12	0.0001
0.025	283.00	78.54	3.60	0.000125
0.030	307.00	78.54	3.91	0.00015
0.035	331.00	78.54	4.21	0.000175
0.040	349.00	78.54	4.44	0.0002
0.045	362.00	78.54	4.61	0.000225
0.050	373.00	78.54	4.75	0.00025
0.055	388.00	78.54	4.94	0.000275
0.060	397.00	78.54	5.05	0.0003



0.065	403.00	78.54	5.13	0.000325
0.070	415.00	78.54	5.28	0.00035

Figura 59. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD a los 7 días.

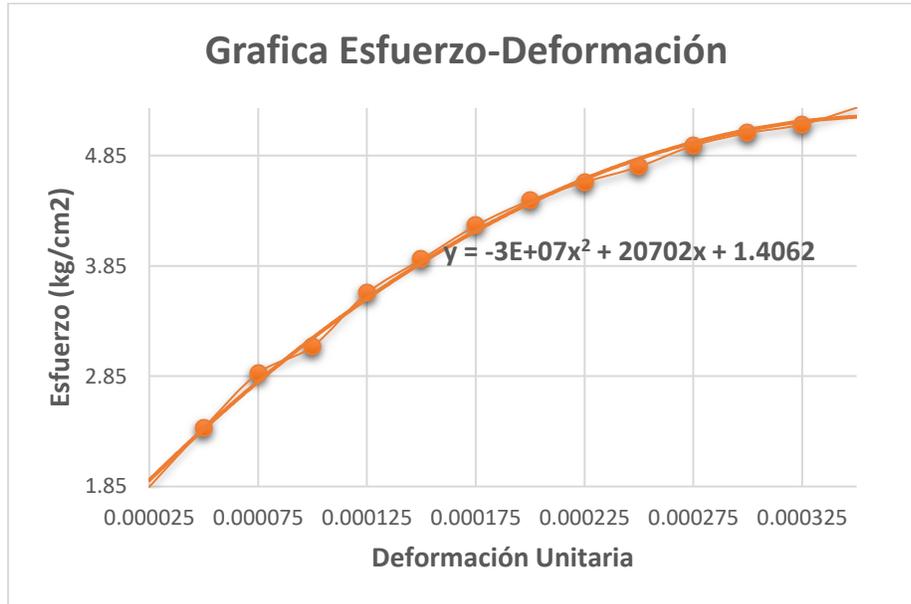


Tabla 52. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD a los 14 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	180.00	78.54	2.29	0.000025
0.010	249.00	78.54	3.17	0.00005
0.015	355.00	78.54	4.52	0.000075
0.020	422.00	78.54	5.37	0.0001
0.025	506.00	78.54	6.44	0.000125
0.030	550.00	78.54	7.00	0.00015
0.035	616.00	78.54	7.84	0.000175
0.040	710.00	78.54	9.04	0.0002
0.045	745.00	78.54	9.49	0.000225
0.050	776.00	78.54	9.88	0.00025
0.055	803.00	78.54	10.22	0.000275
0.060	848.00	78.54	10.80	0.0003



0.065	873.00	78.54	11.12	0.000325
0.070	904.00	78.54	11.51	0.00035
0.075	925.00	78.54	11.78	0.000375
0.080	956.00	78.54	12.17	0.0004

Figura 60. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD a los 14 días.

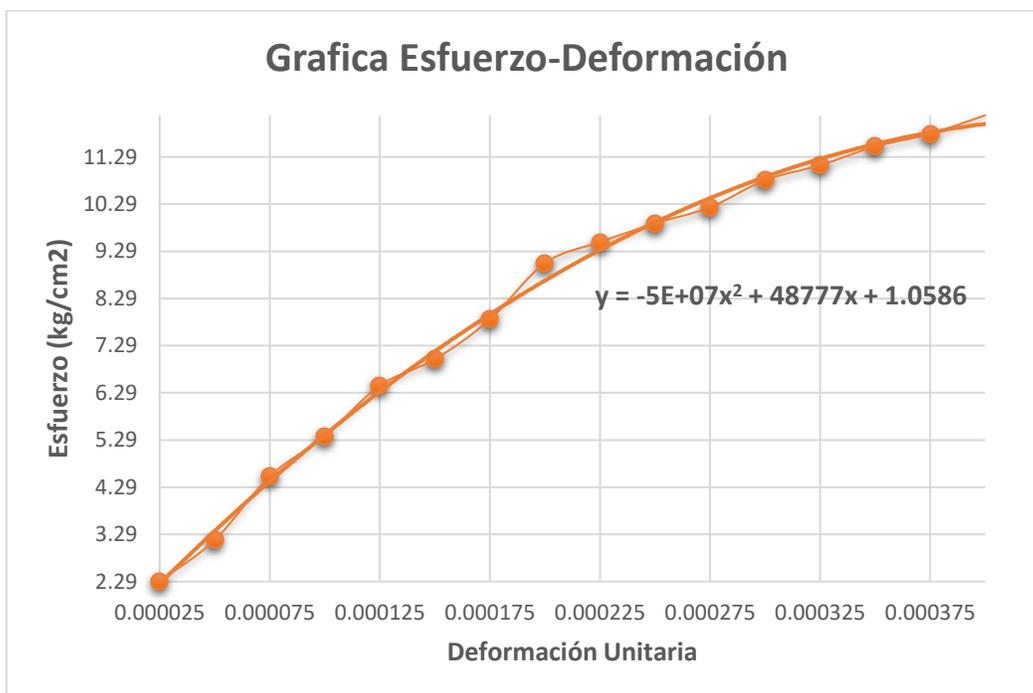


Tabla 53. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD a los 28 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	242.30	78.54	3.09	0.000025
0.010	316.30	78.54	4.03	0.00005
0.015	418.20	78.54	5.32	0.000075
0.020	486.80	78.54	6.20	0.0001
0.025	564.00	78.54	7.18	0.000125
0.030	632.10	78.54	8.05	0.00015
0.035	710.90	78.54	9.05	0.000175
0.040	762.90	78.54	9.71	0.0002
0.045	822.40	78.54	10.47	0.000225



0.050	868.90	78.54	11.06	0.00025
0.055	925.50	78.54	11.78	0.000275
0.060	961.50	78.54	12.24	0.0003
0.065	1019.70	78.54	12.98	0.000325
0.070	1058.60	78.54	13.48	0.00035
0.075	1103.40	78.54	14.05	0.000375

Figura 61. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD a los 28 días.

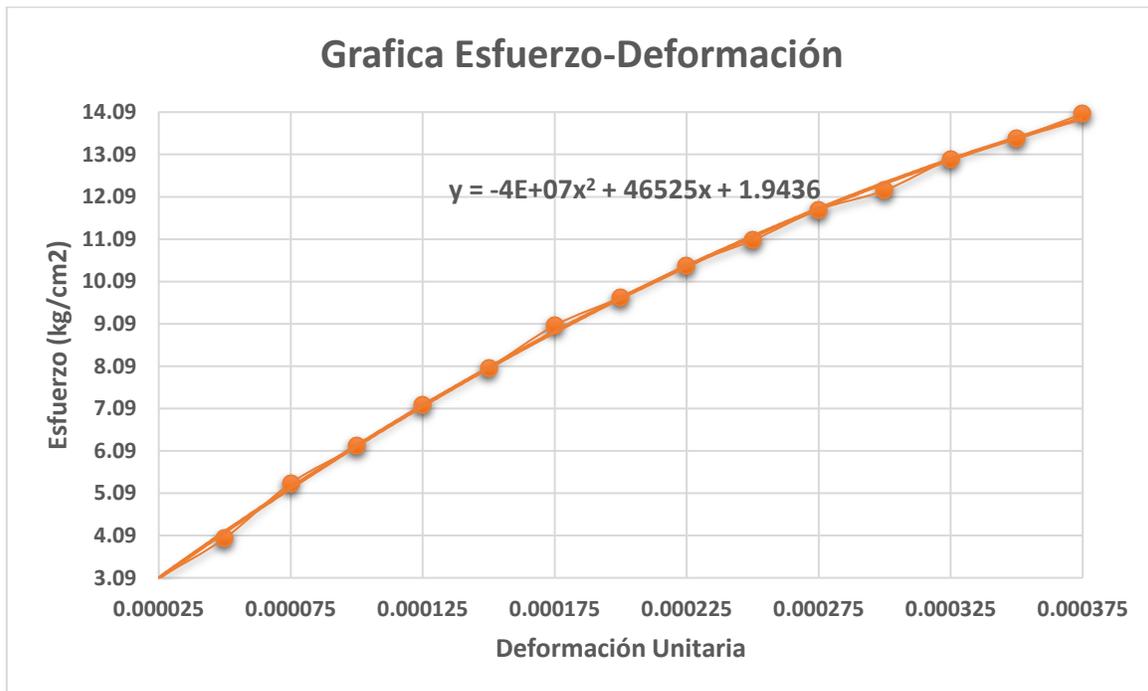


Tabla 54. Resultados promedio ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD a los 7, 14 y 28 días.

PRUEBA	PROMEDIO E (kgf/cm ²)
7 DÍAS	15733.92
14 DÍAS	33966.20
28 DÍAS	39067.09



De acuerdo a los resultados obtenidos del ensaye de la mezcla 50% RCD a los 7, 14 y 28 días se observa (tabla 54) que el módulo de elasticidad crece conforme mayor es la edad por lo que se concluye que el material se vuelve más rígido conforme pasa el tiempo. Las gráficas esfuerzo-deformación las podemos observar en las figuras 59, 60 y 61 al igual que las tablas (51, 52 y 53) con las que graficaron.

Tabicones con 50% RCD + 5% caucho.

Tabla 55. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 7 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm²)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Unitaria
0.005	186.00	78.54	2.37	0.000025
0.010	257.00	78.54	3.27	0.00005
0.015	353.00	78.54	4.49	0.000075
0.020	411.00	78.54	5.23	0.0001
0.025	476.00	78.54	6.06	0.000125
0.030	510.00	78.54	6.49	0.00015
0.035	558.00	78.54	7.10	0.000175
0.040	581.00	78.54	7.40	0.0002
0.045	619.00	78.54	7.88	0.000225
0.050	640.00	78.54	8.15	0.00025
0.055	669.00	78.54	8.52	0.000275
0.060	691.00	78.54	8.80	0.0003



Figura 62. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 7 días.

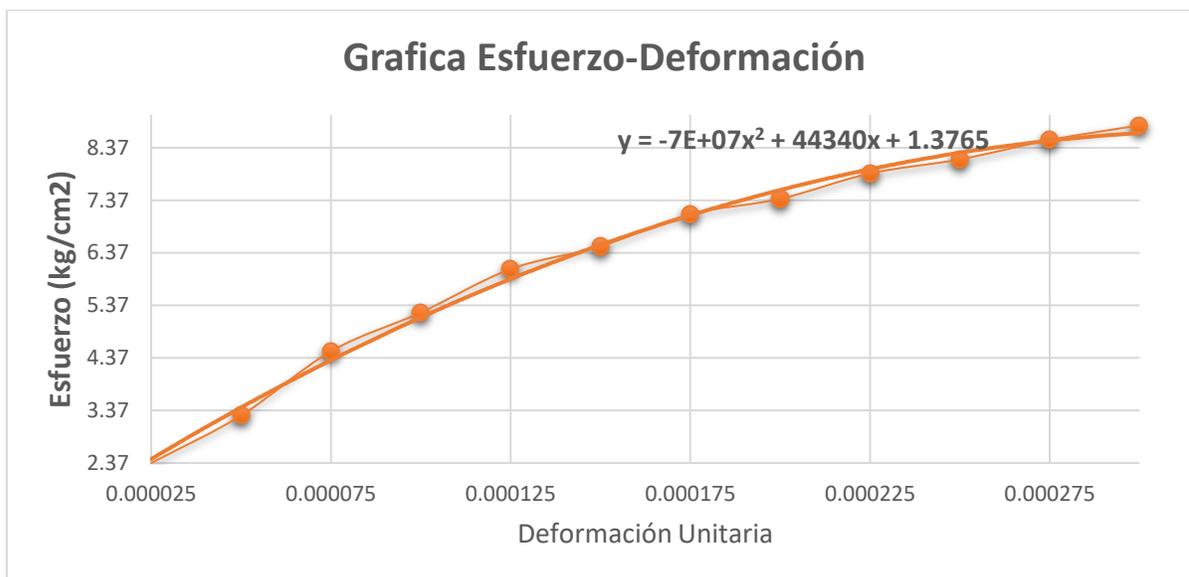


Tabla 56. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 14 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	103.00	78.54	1.31	0.000025
0.010	128.00	78.54	1.63	0.000050
0.015	141.00	78.54	1.80	0.000075
0.020	165.00	78.54	2.10	0.000100
0.025	207.00	78.54	2.64	0.000125
0.030	234.00	78.54	2.98	0.000150
0.035	275.00	78.54	3.50	0.000175
0.040	299.00	78.54	3.81	0.000200
0.045	333.00	78.54	4.24	0.000225
0.050	341.00	78.54	4.34	0.000250
0.055	372.00	78.54	4.74	0.000275



Figura 63. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 14 días.

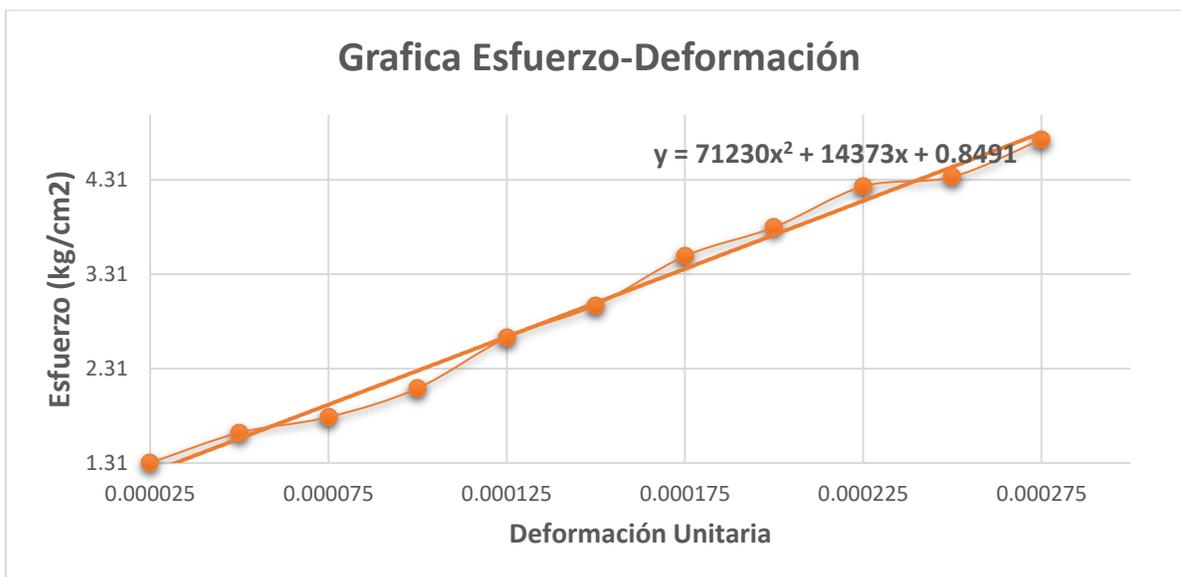


Tabla 57. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 28 días.

Deformación (mm)	Carga (kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	256.90	78.54	3.27	0.000025
0.010	327.00	78.54	4.16	0.000050
0.015	380.20	78.54	4.84	0.000075
0.020	418.00	78.54	5.32	0.000100
0.025	461.40	78.54	5.87	0.000125
0.030	487.20	78.54	6.20	0.000150
0.035	510.40	78.54	6.50	0.000175
0.040	525.80	78.54	6.69	0.000200
0.045	542.70	78.54	6.91	0.000225
0.050	554.90	78.54	7.07	0.000250
0.055	559.10	78.54	7.12	0.000275
0.060	563.50	78.54	7.17	0.000300
0.065	579.70	78.54	7.38	0.000325
0.070	586.60	78.54	7.47	0.000350
0.075	593.00	78.54	7.55	0.000375



0.080	598.50	78.54	7.62	0.0004
0.085	607.40	78.54	7.73	0.000425
0.090	612.60	78.54	7.80	0.00045

Figura 64. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 28 días.

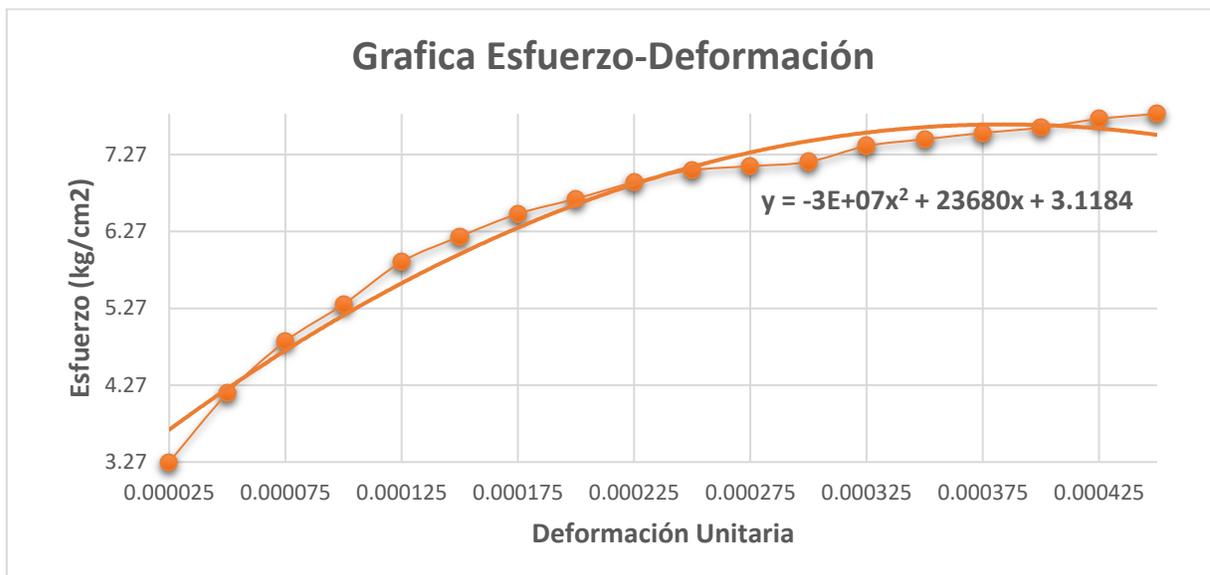


Tabla 58. Resultados promedio ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 5% caucho a los 7, 14 y 28 días.

PRUEBA	PROMEDIO E (kgf/cm ²)
7 DÍAS	24122.92
14 DÍAS	16022.13
28 DÍAS	30360.09

De acuerdo a los resultados obtenidos del ensaye de la mezcla 50% RCD+5% caucho a los 7, 14 y 28 días se observa (tabla 58) que el módulo de elasticidad crece conforme mayor es la edad por lo que se concluye que el material se vuelve más rígido conforme pasa el tiempo. Las gráficas esfuerzo-deformación las podemos observar en las figuras 62, 63 y 64 al igual que las tablas (55, 56 y 57) con las que graficaron.



Tabicones con 50% RCD + 10% caucho a los 7 días

Tabla 59. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 7 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	34.00	78.54	0.43	0.000025
0.010	49.00	78.54	0.62	0.00005
0.015	55.00	78.54	0.70	0.000075
0.020	60.00	78.54	0.76	0.0001
0.025	82.00	78.54	1.04	0.000125
0.030	102.00	78.54	1.30	0.00015
0.035	129.00	78.54	1.64	0.000175
0.040	151.00	78.54	1.92	0.0002
0.045	176.00	78.54	2.24	0.000225
0.050	191.00	78.54	2.43	0.00025
0.055	232.00	78.54	2.95	0.000275
0.060	269.00	78.54	3.43	0.0003

Figura 65. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 7 días.

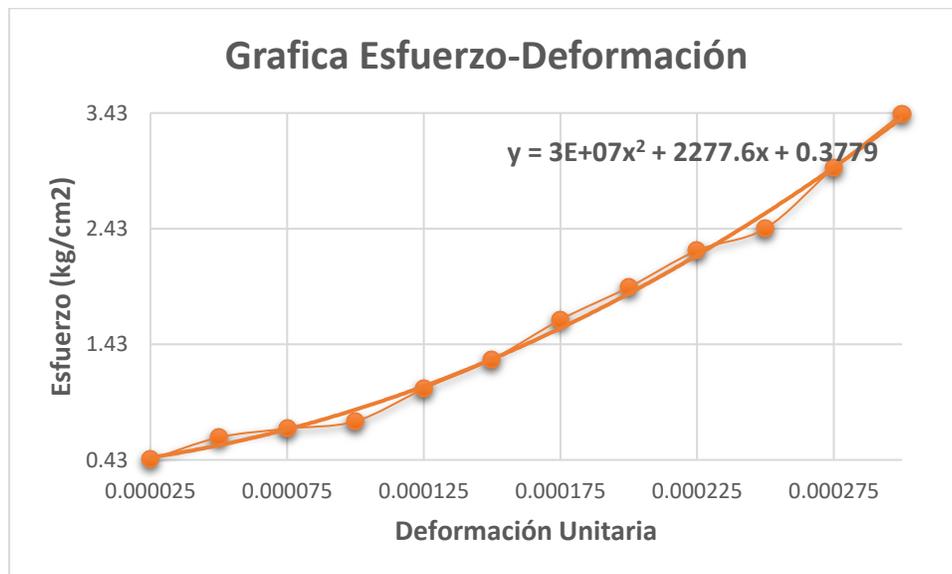




Tabla 60. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 14 días.

Deformación (mm)	Carga (kgf)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	162.00	78.54	2.06	0.000025
0.010	206.00	78.54	2.62	0.00005
0.015	266.00	78.54	3.39	0.000075
0.020	297.00	78.54	3.78	0.0001
0.025	320.00	78.54	4.07	0.000125
0.030	321.00	78.54	4.09	0.00015

Figura 66. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 14 días.

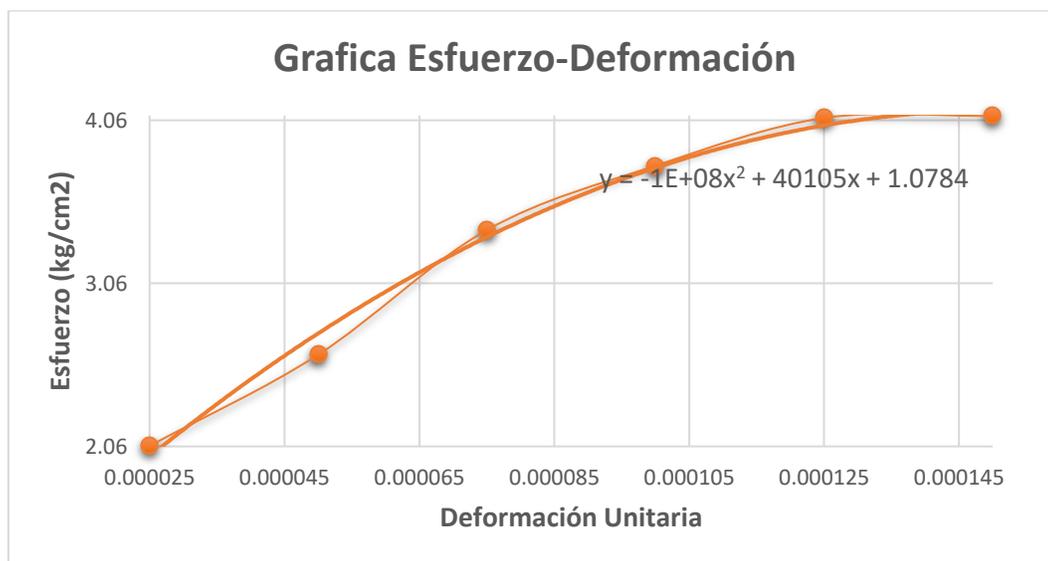


Tabla 61. Resultados ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 28 días.

Deformación (mm)	Carga (kfg)	Área (cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Deformación Unitaria
0.005	114.00	78.54	1.45	0.000025
0.010	151.00	78.54	1.92	0.00005
0.015	202.00	78.54	2.57	0.000075
0.020	234.00	78.54	2.98	0.0001



0.025	266.00	78.54	3.39	0.000125
0.030	285.00	78.54	3.63	0.00015
0.035	315.00	78.54	4.01	0.000175
0.040	334.00	78.54	4.25	0.0002
0.045	371.00	78.54	4.72	0.000225

Figura 67. Grafica esfuerzo – deformación mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 28 días.

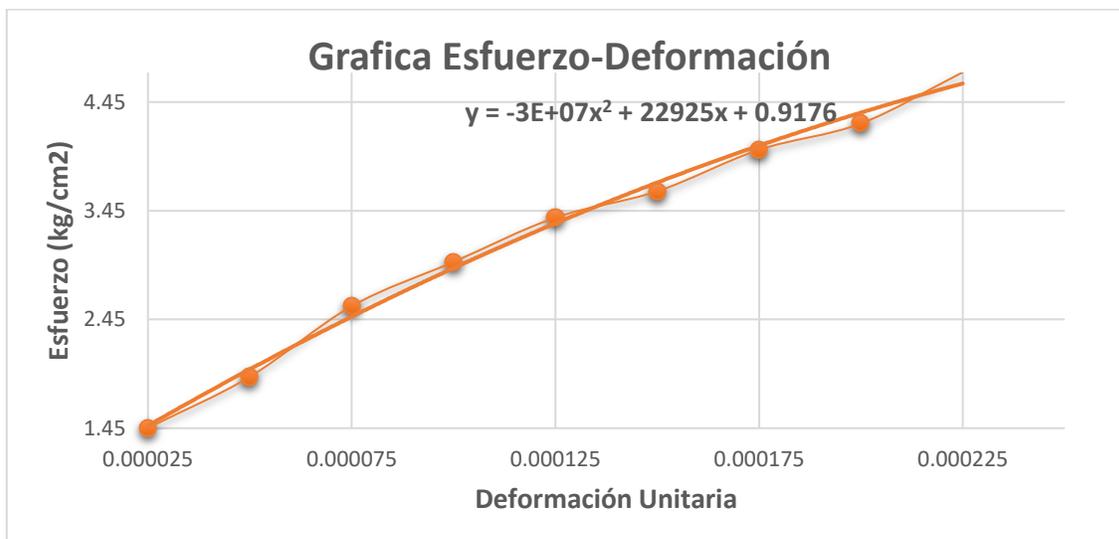


Tabla 62. Resultados promedio ensaye módulo de elasticidad mezcla 50% RCD + 10% caucho a los 7, 14 y 28 días.

PRUEBA	PROMEDIO E (kgf/cm ²)
7 DÍAS	14659.87
14 DÍAS	24959.87
28 DÍAS	28615.25

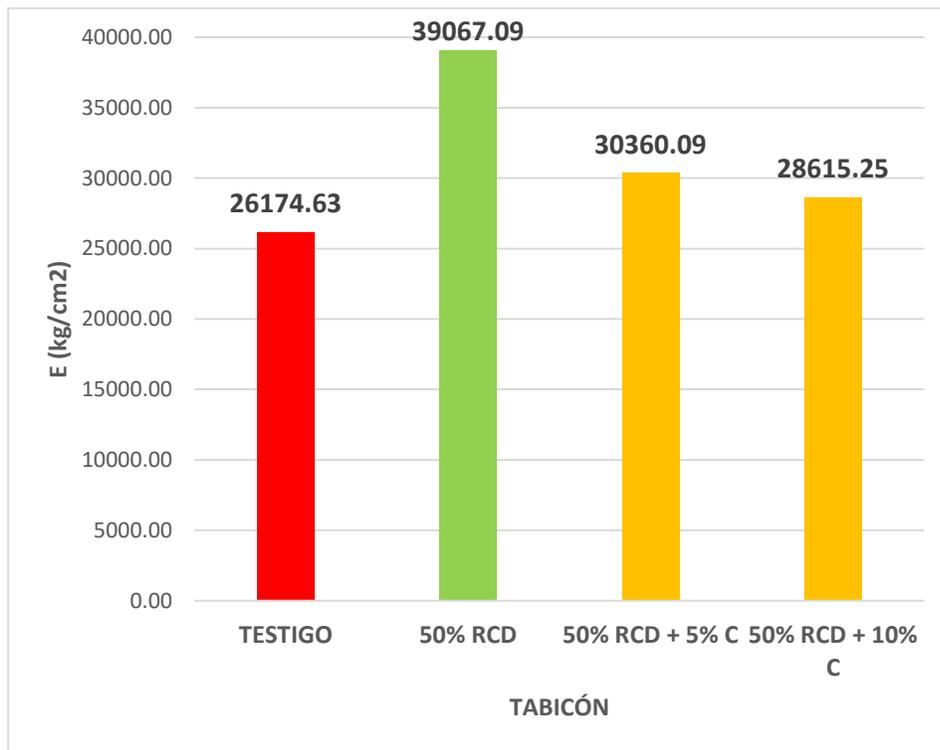
De acuerdo a los resultados obtenidos del ensaye de la mezcla 50% RCD+10% caucho a los 7, 14 y 28 días se observa que el módulo de elasticidad crece conforme mayor es la edad por lo que se concluye que el material se vuelve más rígido conforme pasa el tiempo. Las



gráficas esfuerzo-deformación las podemos observar en las figuras 65, 66 y 67 al igual que las tablas (59, 60 y 61) con las que graficaron.

9.2.7.1. Comparativa de Módulo de elasticidad entre tabicones testigo y tabicones reciclados.

Figura 68. Comparativa de resultados del ensaye de Resistividad eléctrica de todas las mezclas.



Como se observa en la figura 68 cuando se sustituyen los RCD el módulo de elasticidad aumenta lo que denota que al incorporar los RCD a los tabicones los vuelve más rígidos, por lo tanto, tienen más capacidad de deformarse antes de sufrir algún cambio en su estructura (existe más cohesión y adherencia entre sus partículas), cuando se sustituye tanto los RCD como el caucho también su módulo es más alto incluso en comparación que el tabicón testigo pero menor a los resultados obtenidos con las mezclas sustituidas solamente con RCD. No se hicieron cilindros donde se sustituyeran solamente las partículas de caucho, pero observando el comportamiento entre la mezcla de 50 RCD+ 5% y 50% RCD+10% caucho se



podría predecir que entre más porcentaje de caucho tenga la mezcla menor será el módulo de elasticidad.

9.2.8. Análisis económico de cada diseño.

9.2.8.2. Primer Análisis económico.

Se elaboró un análisis económico a costo directo en base a las mezclas realizadas con diferentes porcentajes de agregado reciclado. Para este análisis se corroboraron precios actuales a noviembre del año 2022.

Este análisis es importante ya que nos da un panorama un poco más amplio de los ahorros aparte de ambientales, ahorros económicos en base a la utilización de estos tipos de agregados reciclados.

Cabe destacar que este estudio se realizó considerando que el material reciclado es proporcionado por una planta de concreto reciclado, la cual ha facilitado el precio del material por m³ en \$130.00 mx para los RCD y \$8.00 mx por kg de partículas de caucho.

Es importante mencionar que el precio de los RCD que se usó para este análisis se obtuvo de la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V. ubicada en la CDMX y no hacen envíos fuera de la ciudad, por lo tanto, estas condiciones de viabilidad del proyecto se cumplirían máximo a 30 km a la redonda que es la distancia máxima de envío de la planta, esto para que sea viable económicamente ya que de no cumplirse se tendría que considerar un costo extra por flete, por lo que se optó por realizar un segundo estudio considerándolo. El precio que se consiguió por un viaje de 14 m³ fue de \$10,000.00 mx.

Para esta investigación, hay que señalar que la cuantificación se hizo considerando el proporcionamiento de la bloquera “TABITODO” y los porcentajes previstos en el apartado de la metodología, como se muestra a continuación.



Lo primero que se hizo fue determinar el volumen de agregados para cada mezcla, luego se procedió con el análisis del consto directo por pieza, en el cual se tomaron en cuenta los materiales, mano de obra, maquinaria y equipo. Esto se hizo para cada mezcla. A continuación, se muestran todos los análisis siguiendo el mismo procedimiento:

9.2.8.1.Costo Directo para la mezcla testigo.

Determinación del volumen de los materiales:

Tabla 63. Volumen de agregados mezcla testigo.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m³)	MVSS (kg/m³)	VOLUMEN (m³)
SELLO	2.1619	1700	645	0.0034
BALASTRE	1.7929	2114	1213	0.0015
AGUA	0.2786	1000		0.0003



Tabla 64. Análisis de Costo Directo para la muestra testigo.

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$ 1.05
SELLO	0.0034	m ³	\$ 190.57	\$ 0.64
BALASTRE	0.0015	m ³	\$ 256.86	\$ 0.38
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total, de Materiales =				\$ 2.09
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total, de Mano de obra =				\$ 0.20
MAQUINARIA Y EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total, de Herramienta menor=				\$ 0.01
Costo Directo=				\$ 2.30

9.2.8.2. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 15% RCD.

Determinación del volumen de los materiales:

Tabla 65. Volumen de agregados mezcla 15% RCD.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m ³)	MVSS (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)
SELLO	1.8376	1700	645	0.0028
RCD	0.3243	2041	1053	0.0003
BALASTRE	1.7929	2114	1213	0.0015
AGUA	0.2786	1000		0.0003



En la tabla 65 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución del 15% RCD.

Tabla 66. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 15% RCD.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$ 1.05
SELLO	0.0028	m ³	\$ 190.57	\$ 0.54
RCD	0.0003	m ³	\$ 130.00	\$ 0.04
BALASTRE	0.0015	m ³	\$ 256.86	\$ 0.38
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total, de Materiales =				\$ 2.03

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total, de Mano de obra =				\$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total, de Herramienta menor=				\$ 0.01

Costo Directo= \$ 2.24

9.2.8.3. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 30% RCD.

Determinación del volumen de los materiales:



Tabla 67. Volumen de agregados mezcla 30% RCD.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m³)	MVSS (kg/m³)	VOLUMEN (m³)
SELLO	1.5133	1700	645.00	0.0023
RCD	0.6486	2041	1053.00	0.0006
BALASTRE	1.7929	2114	1213.00	0.0015
AGUA	0.2786	1000		0.0003

En la tabla 67 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución del 30% RCD.

Tabla 68. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 30% RCD.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$ 1.05
SELLO	0.0023	m ³	\$ 190.57	\$ 0.45
RCD	0.0006	m ³	\$ 130.00	\$ 0.07
BALASTRE	0.0015	m ³	\$ 256.86	\$ 0.38
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 1.97

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01

Costo Directo= \$ 2.19



9.2.8.4. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 50% RCD.

Determinación del volumen de los materiales.

Tabla 69. Volumen de agregados mezcla 50% RCD.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m³)	MVSS (kg/m³)	VOLUMEN (m³)
SELLO	1.0810	1700	645.00	0.0017
RCD	1.0810	2041	1053.00	0.0010
BALASTRE	1.7929	2114	1213.00	0.0015
AGUA	0.2786	1000		0.0003

En la tabla 69 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución del 50% RCD.

Tabla 70. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$ 1.05
SELLO	0.0017	m ³	\$ 190.57	\$ 0.32
RCD	0.0010	m ³	\$ 130.00	\$ 0.12
BALASTRE	0.0015	m ³	\$ 256.86	\$ 0.38
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 1.89

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Generales				
Total de Mano de obra =				\$ 0.20



MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01
Costo Directo=				\$ 2.11

9.2.8.5. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 100% RCD.

Determinación del volumen de los materiales:

Tabla 71. Volumen de agregados mezcla 100% RCD.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m ³)	MVSS (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)
RCD	2.1619	2041	1053.00	0.0021
BALASTRE	1.7929	2114	1213.00	0.0015
AGUA	0.2786	1000		0.0003

En la tabla 71 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución del 100% RCD.

Tabla 72. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 100% RCD.

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$ 1.05
RCD	0.0021	m ³	\$ 114.00	\$ 0.23
BALASTRE	0.0015	m ³	\$ 256.86	\$ 0.38
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 1.68
MANO DE OBRA				



DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20
MAQUINARIA Y EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01
Costo Directo=				\$ 1.93

9.2.8.6. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 5% caucho.

Determinación del volumen de los materiales:

Tabla 73. Volumen de agregados mezcla 5% caucho.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m ³)	MVSS (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)
SELLO	2.0636	1700	645.00	0.0032
CAUCHO	0.0856	957		
BALASTRE	1.6258	2114	1213.00	0.0013
AGUA	0.2659	1000		0.0003

En la tabla 73 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución 5% caucho.



TABICONES 5% caucho.

Tabla 74. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 5% caucho.

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2727	kg	\$ 3.67	\$ 1.00
SELLO	0.0032	m ³	\$ 190.57	\$ 0.61
CAUCHO	0.0856	kg	\$ 8.00	\$ 0.68
BALASTRE	0.0013	m ³	\$ 256.86	\$ 0.34
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 2.66
MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20
MAQUINARIA Y EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01
Costo Directo=				\$ 2.87

9.2.8.7. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 10% caucho.

Determinación del volumen de los materiales:



Tabla 75. Volumen de agregados mezcla 10% caucho.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m³)	MVSS (kg/m³)	VOLUMEN (m³)
SELLO	1.9739	1700	645.00	0.0031
CAUCHO	0.1637	957		
BALASTRE	1.4733	2114	1213.00	0.0012
AGUA	0.2543	1000		0.0003

En la tabla 75 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución 10% caucho.

Tabla 76. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 10% caucho.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2609	kg	\$ 3.67	\$ 0.96
SELLO	0.0031	m ³	\$ 190.57	\$ 0.58
CAUCHO	0.1637	kg	\$ 8.00	\$ 1.31
BALASTRE	0.0012	m ³	\$ 256.86	\$ 0.31
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 3.18

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01

Costo Directo= \$ 3.39



9.2.8.8. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 20% caucho.

Determinación del volumen de los materiales:

Tabla 77. Volumen de agregados mezcla 20% caucho.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m³)	MVSS (kg/m³)	VOLUMEN (m³)
SELLO	1.8917	1700	645.00	0.0029
CAUCHO	0.3138	957		
BALASTRE	1.2550	2114	1213.00	0.0010
AGUA	0.2438	1000		0.0002

En la tabla 77 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución 20% caucho.

Tabla 78. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 20% caucho.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2500	kg	\$ 3.67	\$ 0.92
SELLO	0.0029	m ³	\$ 190.57	\$ 0.56
CAUCHO	0.3138	kg	\$ 8.00	\$ 2.51
BALASTRE	0.0010	m ³	\$ 256.86	\$ 0.27
AGUA	0.0002	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 4.27

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Generales				
Total de Mano de obra =				\$ 0.20



MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01
Costo Directo=				\$ 4.48

9.2.8.9. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 50% RCD+5% caucho.

Determinación del volumen de los materiales:

Tabla 79. Volumen de agregados mezcla 50% RCD+5% caucho.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m ³)	MVSS (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)
SELLO	0.9286	1700	645.00	0.0014
RCD	1.0318	2041	1053.00	0.0010
CAUCHO	0.1032	957		
BALASTRE	1.7114	2114	1213.00	0.0014
AGUA	0.2659	1000		0.0003

En la tabla 79 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución 50% RCD+5% caucho.

Tabla 80. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD+5% caucho.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2727	kg	\$ 3.67	\$ 1.00
SELLO	0.0014	m ³	\$ 190.57	\$ 0.27
RCD	0.0010	m ³	\$ 114.00	\$ 0.11
CAUCHO	0.1032	kg	\$ 8.00	\$ 0.83
BALASTRE	0.0014	m ³	\$ 256.86	\$ 0.36
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02



Total de Materiales = \$ 2.59

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20

Total de Mano de obra = \$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01

Total de Herramienta menor= \$ 0.01

Costo Directo= \$ 2.82

9.2.8.10. Costo Directo para la mezcla con sustitución del 50% RCD+10% caucho.

Determinación del volumen de los materiales:

Tabla 81. Volumen de agregados mezcla 50% RCD+10% caucho.

MATERIAL	PESO (kg)	DENSIDAD (kg/m ³)	MVSS (kg/m ³)	VOLUMEN (m ³)
SELLO	0.7896	1700	645.00	0.0012
RCD	0.9870	2041	1053.00	0.0009
CAUCHO	0.1974	957		
BALASTRE	1.6370	2114	1213.00	0.0013
AGUA	0.2543	1000		0.0003

En la tabla 81 se muestra el Costo Directo total de los insumos requeridos para la muestra con sustitución 50% RCD+10% caucho.



TABICONES 50% RCD+10% caucho.

Tabla 82. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD+10% caucho.

MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2609	kg	\$ 3.67	\$ 0.96
SELLO	0.0012	m ³	\$ 190.57	\$ 0.23
RCD	0.0009	m ³	\$ 114.00	\$ 0.11
CAUCHO	0.1974	kg	\$ 8.00	\$ 1.58
BALASTRE	0.0013	m ³	\$ 256.86	\$ 0.35
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 3.24

MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20

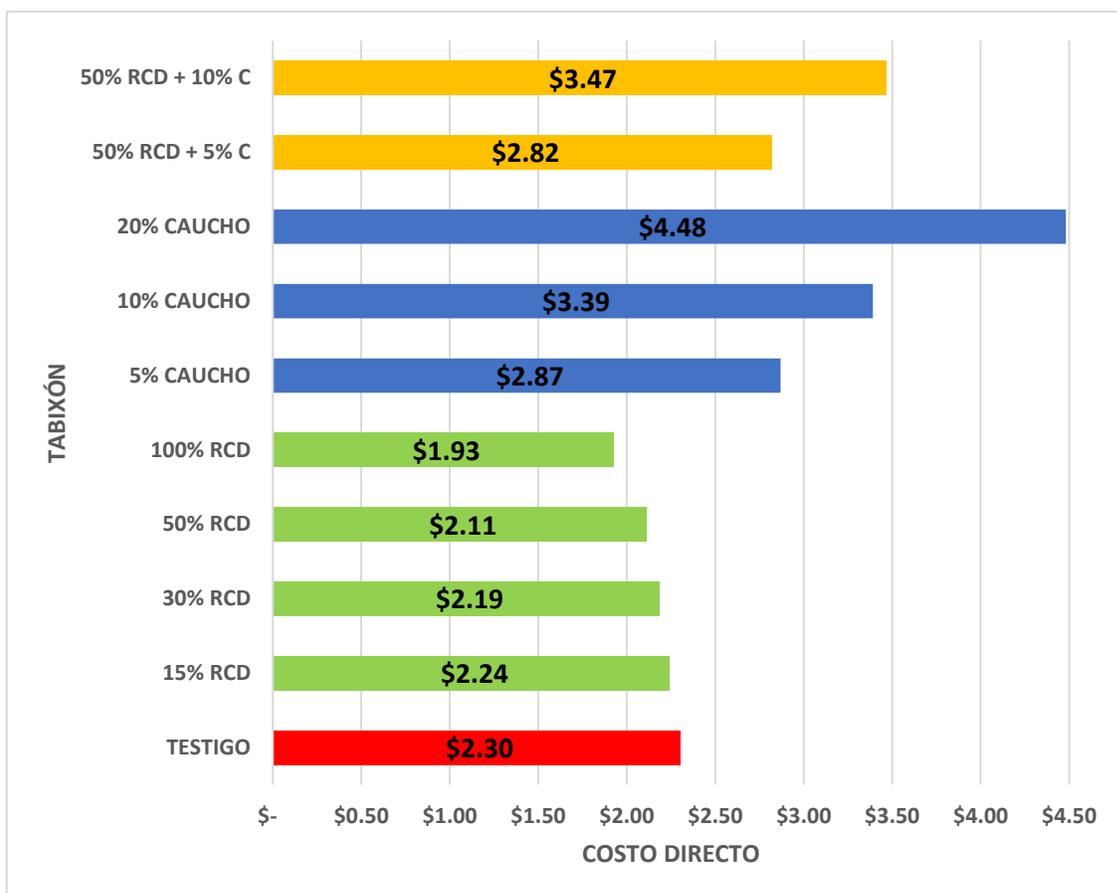
MAQUINARIA Y EQUIPO				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01

Costo Directo=				\$ 3.47
----------------	--	--	--	---------



9.2.8.11. Comparativa del Costo Directo de los tabicones testigo y tabicones reciclados.

Figura 69. Comparativa de análisis económico de todas las mezclas.



De acuerdo a lo analizado anteriormente si comparamos la mezcla testigo con las mezclas fabricadas con solamente RCD, la propuesta más económica es la de 100% RCD, por lo que podemos deducir que entre mayor sea el porcentaje de sustitución menor será el costo.

Comparando las mezclas elaboradas con caucho con la mezcla testigo podemos observar que entre mayor sea el porcentaje de sustitución aumenta el costo, por lo que la propuesta más económica es la mezcla con el 5% de sustitución de caucho.



Analizando las mezclas de 50% RCD+5% caucho y 50% RCD+10% caucho en comparación con la mezcla testigo la propuesta más económica es la mezcla elaborada con 50% RCD+5% caucho, su costo aumenta ya que el precio del caucho es un poco elevado.

Examinando todos los ensayos se deduce que la propuesta más económica incluso que la mezcla testigo es el ensayo elaborado con 100% RCD.

9.2.8.3. Segundo Análisis económico.

Para el segundo estudio se consideró el costo extra por flete, el cual es por \$10,000.00 mx por un camión de 14m³, por lo que el costo por m³ será de \$714.29 mx. A continuación, se muestran las tablas con sustitución del 15%, 30%, 50% y 100% RCD y las mezclas 50% RCD+5% caucho y 50% RCD+10% caucho que son las mezclas en donde afectan estos costos adicionales:

Tabla 83. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 15% RCD +FLETE

MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$	1.05
SELLO	0.0028	m ³	\$ 190.57	\$	0.54
RCD+FLETE	0.0003	m ³	\$ 844.29	\$	0.26
BALASTRE	0.0015	m ³	\$ 256.86	\$	0.38
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$	0.02
Total de Materiales =				\$	2.25
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$	0.20
Total de Mano de obra =				\$	0.20
MAQUINARIA Y EQUIPO					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE	



Herramienta menor	5%	%	\$	0.20	\$	0.01
Total de Herramienta menor=					\$	0.01
Costo Directo=					\$	2.46

Tabla 84. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 30% RCD +FLETE.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$ 1.05
SELLO	0.0023	m ³	\$	\$ 0.45
			190.57	
RCD+FLETE	0.0006	m ³	\$ 844.29	\$ 0.52
BALASTRE	0.0015	m ³	\$	\$ 0.38
			256.86	
AGUA	0.0003	m ³	\$	\$ 0.02
			75.40	
Total de Materiales =				\$ 2.42

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01
Costo Directo=				\$ 2.63



Tabla 85. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD +FLETE.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$ 1.05
SELLO	0.0017	m ³	\$ 190.57	\$ 0.32
RCD+FLETE	0.0010	m ³	\$ 844.29	\$ 0.87
BALASTRE	0.0015	m ³	\$ 256.86	\$ 0.38
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 2.64

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01

Costo Directo= \$ 2.85



Tabla 86. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 100% RCD +FLETE.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2857	kg	\$ 3.67	\$ 1.05
SELLO	0.0000	m ³	\$ 190.57	\$ -
RCD+FLETE	0.0021	m ³	\$ 844.29	\$ 1.73
BALASTRE	0.0015	m ³	\$ 256.86	\$ 0.38
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 3.18

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01

Costo Directo= \$ 3.39



Tabla 87. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD+5% caucho +FLETE.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2727	kg	\$ 3.67	\$ 1.00
SELLO	0.0014	m ³	\$ 190.57	\$ 0.27
RCD+FLETE	0.0010	m ³	\$ 844.29	\$ 0.83
CAUCHO	0.1032	kg	\$ 8.00	\$ 0.83
BALASTRE	0.0014	m ³	\$ 256.86	\$ 0.36
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 3.31

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01

Costo Directo= \$ 3.52



Tabla 88. Análisis de Costo Directo para la muestra con sustitución de 50% RCD+10%
caucho +FLETE.

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
CEMENTO	0.2609	kg	\$ 3.67	\$ 0.96
SELLO	0.0012	m ³	\$ 190.57	\$ 0.23
RCD	0.0009	m ³	\$ 844.29	\$ 0.79
CAUCHO	0.1974	kg	\$ 8.00	\$ 1.58
BALASTRE	0.0013	m ³	\$ 256.86	\$ 0.35
AGUA	0.0003	m ³	\$ 75.40	\$ 0.02
Total de Materiales =				\$ 3.93

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
2 ayudantes Generales	1.0000	destajo	\$ 0.20	\$ 0.20
Total de Mano de obra =				\$ 0.20

MAQUINARIA Y EQUIPO

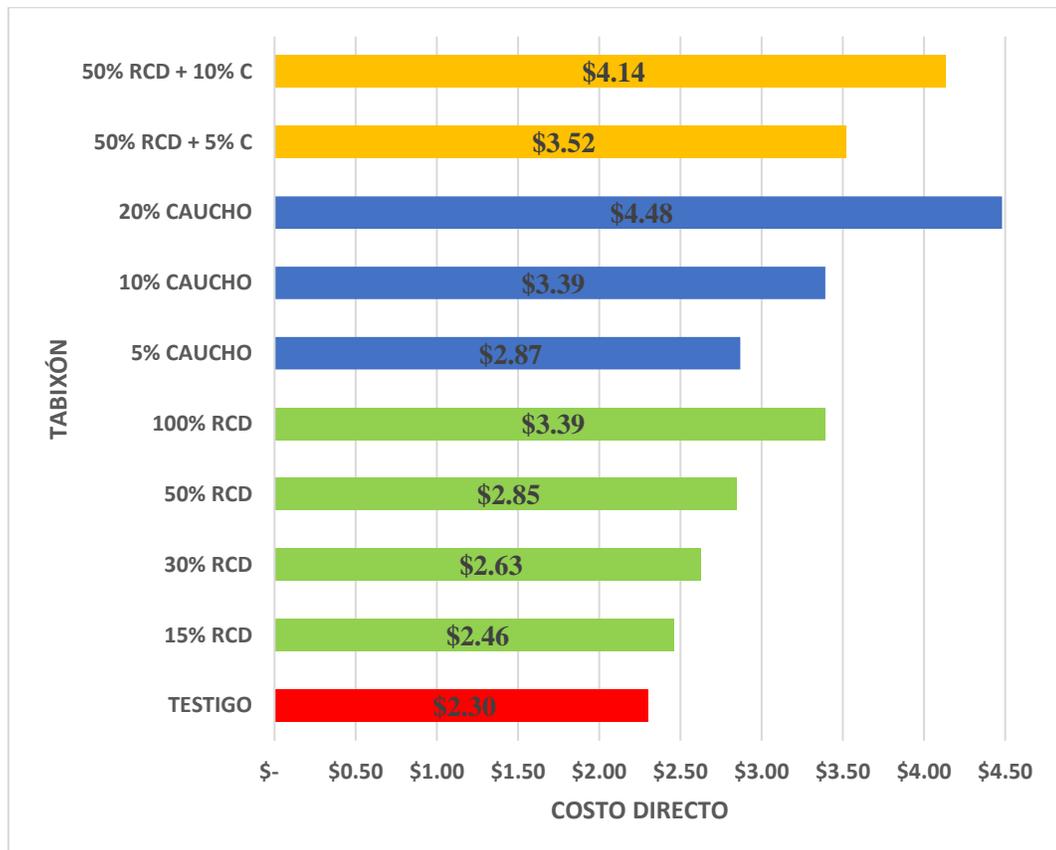
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
Herramienta menor	5%	%	\$ 0.20	\$ 0.01
Total de Herramienta menor=				\$ 0.01

Costo Directo= \$ 4.14



9.2.8.12. Comparativa del Costo Directo de los tabicones testigo y tabicones reciclados considerando el consto del flete.

Figura 70. Comparativa de análisis económico de todas las mezclas considerando un costo adicional por flete.



De acuerdo a lo examinado, si comparamos la mezcla testigo con las mezclas fabricadas con solamente RCD, la propuesta más económica es la de 15% RCD, pero no menor al tabicón testigo, por lo que podemos deducir que entre mayor sea el porcentaje de sustitución mayor será el costo

Como se mencionó en el aparto anterior en la comparativa de las mezclas elaboradas con caucho con la mezcla testigo podemos es la misma ya que no nos afectaría el costo por flete porque ninguna de estas mezclas contiene RCD.



Al Analizar las mezclas de 50% RCD+5% caucho y 50% RCD+10% caucho en comparación con la mezcla testigo la propuesta más económica sigue siendo la mezcla elaborada con 50% RCD+5% caucho, ya que se utiliza un menor porcentaje de RCD.

Verificando todos los ensayos se deduce que la propuesta más económica reciclada es el ensaye elaborado con 15% RCD, que como se ha comentado entre menor sea el porcentaje de sustitución de RCD menor será el costo, al igual pasa con el caucho entre menor sea el porcentaje menor será el costo.



10. CONCLUSIONES.

En cuanto a la generación y aprovechamiento de los RCD se determinó que a nivel nacional e internacional en más del 80% de los países, el mayor porcentaje de generación proviene de material de excavación, en segundo lugar, a los residuos provenientes del concreto, seguidos de los residuos del tipo mezclados, prefabricados y pétreos, otros como residuos sólidos, los cuales su principal fuente de generación es la edificación por lo que podemos concluir que si existe la disponibilidad de los materiales para fabricar los tabicones en estudio. Por otro lado, debido a que los gránulos de caucho ya se comercializan debido a su gran potencial de reciclado podemos decir que sería fácil disponer de este residuo para emplearlo en la elaboración de los tabicones.

De los resultados obtenidos del ensaye de absorción total en tabicones la que mejor comportamiento conservó fue la fabricada con 50% RCD+10% caucho, porque tuvo una menor absorción, esto quizá se le pueda conceder a la granulometría de la mezcla ya que esta contenía un mayor porcentaje de finos, y ligado a que debido a esto, se obtuvo una mezcla más homogénea, lo cual podría permitir que al momento de vibro-compactar el material, este se acomodara de mejor manera eliminando poros en la fabricación de los tabicones.

Acorde a los resultados de la prueba a compresión simple, los tabicones que fueron elaborados con RCD lograron el mejor desempeño en comparación con las otras mezclas con reciclados, y se puede concluir, que al incorporar caucho a las mezclas estas se afectan considerablemente disminuyendo su resistencia. De las 10 mezclas fabricadas, 8 cumplen con la resistencia mínima promedio para uso no estructural según la normativa. Para fines de esta investigación la que mejor comportamiento obtuvo, fue la mezcla construida con 50% RCD+5% caucho con una resistencia de 41.18kg/cm², la cual cumple con la resistencia mínima para uso no estructural. El modo de falla observado en estas piezas fue por aplastamiento local, debido a la baja calidad y resistencia de estas.



La mezcla de tabicones donde se emplearon los dos residuos que mejor cumple con la normativa, fue la fabricada con un 50% RCD+5% caucho ya que obtuvo el mejor desempeño en comparativa con la mezcla de 50%RCD+10% caucho, tanto en la resistencia a la compresión como en los otros ensayos, aunque esta tuvo un ligero aumento en la absorción del agua, por lo que se concluye que esta mezcla es más porosa. Por lo tanto, los tabicones estudiados en esta tesis son una alternativa sustentable para el aprovechamiento de los RCD y partículas de caucho, ya que cumplen con los parámetros establecidos con la normativa mexicana para uso no estructural.

Del primer análisis económico, de las mezclas con proporción con un 50% RCD+5% caucho y 50% RCD+10% caucho, se concluye que la propuesta más económica es la mezcla elaborada con 50% RCD+5% caucho, pero no más económica que la mezcla convencional ya que su costo aumenta debido a que el precio del caucho es un poco elevado. Esta alternativa es un 23% más cara que la convencional, pero todavía aún resulta atractiva, ya que sin duda alguna sería más costoso e irreversible no cuidar el medio ambiente. Examinando todos los ensayos en este inciso, se deduce que la propuesta más económica incluso que la mezcla testigo es el ensayo elaborado con 100% RCD porque no hay un costo adicional que lo afecte.

Del segundo análisis de costos, se obtuvo que entre mayor sea el porcentaje de RCD mayor será el costo esto debido al costo adicional considerado (flete), por esta razón la mezcla más viable sigue siendo la mezcla con 50% RCD+5%, ya que como se ve en el primer análisis entre mayor sea el porcentaje de caucho el precio aumentará. Verificando todos los ensayos en este apartado se deduce que la propuesta más económica reciclada es el ensayo elaborado con 15% RCD por las razones ya antes mencionadas.

La implementación de esta alternativa reducirá la explotación de bancos de material y el cambio de uso de suelo de los ecosistemas, por lo tanto, se preservará la flora y fauna del lugar.

Lo que se recomienda cuando se aprovechan estos dos tipos de residuos (RCD y caucho), es su empleo cuando la planta de residuos de concreto reciclado y la planta de caucho



queden cerca de la obra en edificación ya que, de acuerdo a esta investigación, es más viable económicamente fabricarlos en la CDMX que para Morelia, al igual será más viable en zonas donde se cuente con una planta de reciclados. También, se puede obtener un ahorro en las distancias de los acarrees (fletes), como se sabe los bancos de material quedan lejos de las zonas de construcción de las obras; estos se encuentran principalmente en las afueras de las ciudades haciendo más costoso el acarreo del material por lo que se concluye que también existiría un ahorro en los acarrees, ya que las plantas de donde provienen los residuos generalmente quedan más cerca o dentro de la ciudad.

También existe un ahorro en las emisiones de contaminantes al medio ambiente por parte de los vehículos de acarreo debido a que generalmente la planta de reciclados está más cerca que el banco de material más cercano.

Como se ha venido mencionando hay un sinnúmero de ahorros que se pueden generar en relación al uso de los RCD y caucho, como agregados pétreos para la elaboración de pavimentos de concreto, pavimentos asfálticos, elaboración de tabiques, bloques y tabicones, de las cuales ya existen documentación científica comprobada de la utilización de estos agregados y que han sido exitosos en la práctica.

Cabe mencionar, que no importa el porcentaje que se recicla y que aun así sea muy poco, lo importante es hacerlo con responsabilidad sin comprometer la calidad del producto final y éstos puedan ser empleados en el sector de la industria de la construcción.



11.BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilar-Penagos, A. J. (2017). Fabricación de bloques ecológicos a base de material producto de la construcción. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México. Recuperado de: <http://132.248.9.195/ptd2017/noviembre/0767744/0767744.pdf>
- Angel, S., 2012. Planet of Cities. Lincoln Institute of Land Policy Cambridge, MA.
- ONU, 2018, Xihua News Agency: Xinhua español. Obtenido de [http://spanish.xinhuanet.com/2018-05/17/c_137184574.htm#:~:text=NACIONES%20UNIDAS%2C%2016%20may%20\(Xinhua,2050%2C%20dijo%20hoy%20Naciones%20Unidas.](http://spanish.xinhuanet.com/2018-05/17/c_137184574.htm#:~:text=NACIONES%20UNIDAS%2C%2016%20may%20(Xinhua,2050%2C%20dijo%20hoy%20Naciones%20Unidas.)
- Aureliano, F., Costa, A., Júnior, I. y Pedroso. R. (2019). Manufacture of structural blocks of concrete with waste tire rubbers, *Procedia Manufacturing*, 38, 464-470. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.059>
- Bernal, C. (16-septiembre-2015). Componentes de los neumáticos y negro de humo obtenido de su tratamiento por pirolisis. Recuperado de: <https://almacennuclear.wordpress.com/2010/10/15/componentes-de-los-neumaticos-y-negro-de-humo-obtenido-de-su-tratamiento-por-pirolisis/>
- Camós, J. (6-septiembre-2012). ¿Qué es el neumático? Recuperado de: <https://www.circulaseguro.com/que-es-el-neumatico/#:~:text=El%20neum%C3%A1tico%2C%20tambi%C3%A9n>



%20denominado%20cubierta,conferirle%20adherencia%2C%20estabilida%20y%20confort.

Certificados energéticos. (21-marzo-2018). Residuos de construcción y demolición reciclados para su reutilización. Recuperado de: <https://www.certificadosenergeticos.com/residuos-de-construccion-y-demolicion-reciclados-reutilizacion#comments>

CMIC. (2013). Plan de manejo de los residuos de Construcción y Demolición, Recuperado de: <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>

Comisión Europea. (2011). Service Contracton Management of Construction and Demolition waste-SR1. Reporte Final. París, Francia. 240 pp. Recuperado de: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/46735/RojasLopezCarolina.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Fraile, E., Ferreiro, J., Mendivil, M. y San Vicente, A. (2018). Thermal behaviour of hollow blocks and bricks made of concrete doped with waste tyre rubber. *Construction and Building Materials*, 176, 19-200. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.015>

LGPGIR, 2018, LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS. Recuperado de: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_190118.pdf



Manejo Responsable de Llantas Usadas, A.C. (2015). Plan de Manejo de Neumáticos Usados de Desecho, Obtenido de <http://reciclallantas.org.mx/wp-content/uploads/2016/02/Plan-de-Manejo-de-Neumaticos-Usados-de-Desecho-2015-.pdf>

Martínez, Imelda. (2013). “Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Situación Actual y Correcta Gestión Para El Proceso de Reciclaje En La Industria Mexicana.” Universidad Nacional Autónoma de México.

Martínez-Fernández, L., Del Valle-Gil, L.C., y González-López, R.(n.p.). Hormigón reciclado como áridos en hormigones estructurales, Recuperado de: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/hormigon-reciclado-como-aridos-hormigones-estructurales/hormigon-reciclado-como-aridos-hormigones-estructurales.shtml>

Navarro L., Martínez W., Espinoza A. (2011). “ANÁLISIS DE MATERIALES”. Manual de Análisis de Materiales, Resistencia de Materiales, FIC – UMSNH.

Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2013. (26 de febrero de 2015). Gaceta Oficial del Distrito Federal. Recuperado de: https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/PROY-NADF-007-RNAT-2013/Gaceta_DF_NADF-007-RNAT-2013.pdf

ONNCCE, 1997, NMX-C-077-1997-ONNCCE. Industria de la Construcción - Agregados para Concreto - Análisis Granulométrico - Método de Prueba.



ONNCCE, 2004, NMX-C-073-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción - Agregados -Masa Volumétrica - Método de Prueba.

ONNCCE, 2004, NMX-C-030-ONNCCE-2004. Industria de la Construcción - Agregados – Muestreo.

ONNCCE. 2004. NMX-C-036-ONNCCE-2004. Norma Mexicana-Industria de la construcción-Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines- Resistencia a la compresión-Método de prueba.

ONNCCE. 2005. NMX-C-037-ONNCCE-2005. Norma Mexicana-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.

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

ONNCCE. 2013. NMX-C-441-ONNCCE-2013. Norma mexicana-industria de la construcción-Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural-especificaciones.



ONNCCE, 2014, NMX-C-165-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino - Método de Ensayo.

NMX-C-111-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo.

ONNCE, 2014, NMX-C-164-ONNCCE-2014. Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso.

ONNCE, 2019, NMX-C-170-ONNCCE-2019. Industria de la Construcción- Agregados-Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para los ensayos.

Pengfei, R., Bo, L., Guang, Y. y Chai, L., (2020). Utilization of recycled concrete fines and powders to produce alkaliactivated slag concrete blocks. *Journal of Cleaner Production*, 267,122115. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122115>

Pierre Matar y Rouba El Dalati. (2011). Strength of masonry blocks made with recycled concrete aggregates. *Physics Procedia*, 21, 180-186. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2011.10.027>

Richardson, Alan; editor (2013). "Reuse of materials and byproducts in construction. "Waste minimization and recycling". Springer. USA-UK.



Rodríguez, J. R., y García, L. V. (2013). Estructura y desempeño del sector de la construcción en México. *El cotidiano*, (182), 105-116. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/325/32529942011.pdf>

Santos-Marian, D., Monercillo-Delgado, García-Martínez, A. (diciembre de 2013). Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición. Recuperado de: http://libreria.fundacionlaboral.org/ExtPublicaciones/Gestion_residuos_2013_FINAL.pdf

SEMARNAT. (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>

Shen, L.Y., Tam Vivian, W.Y., Tam, C.M., Drew, D. (2004). Mapping approach for examining waste management on construction sites. *J. Construct. Eng. Manag.* 130(4), 472–481, Recuperado de: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:4\(472\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:4(472))

Smartia Group. (2013). Centro de Cambio Global y la Sustentabilidad, A.C.: ¿Qué es Sustentabilidad? Villahermosa, Tabasco. Recuperado de: <http://ccgss.org/sustentabilidad/>

Ye, B., Yuan, H. (2014). An overview of C&D waste management regulations in Central China. In: *ICCREM 2014: Smart Construction and Management in the Context of New Technology*, pp. 45–52.