



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA AMBIENTAL – RESIDUOS SÓLIDOS

VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN, LAS POLIOLEFINAS Y  
DEL INGENIO AZUCARERO PARA SER INCORPORADOS EN UN PROCESO  
PRODUCTIVO

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
BLANCA IVETT RIVAS TORRES

TUTOR PRINCIPAL  
DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA, INSTITUTO DE INGENIERÍA

COMITÉ TUTOR  
M.C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS, FACULTAD DE INGENIERÍA  
DR. ENRIQUE CÉSAR VALDEZ, FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2020



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: M.C. Constantino Gutiérrez Palacios  
Secretario: Dr. Enrique César Valdez  
1 er. Vocal: Dr. José Manuel Gómez Soberón  
2 do. Vocal: M.I. Carlos Javier Mendoza Escobedo  
3 er. Vocal: Dra. María Neftalí Rojas Valencia

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Instituto de Ingeniería, Facultad de Ingeniería. UNAM

**TUTORA DE TESIS:**

Dra. María Neftalí Rojas Valencia



-----  
**FIRMA**

## AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme regresar a sus aulas porque *la cabra siempre tira al monte*.

A mis padres Julia y Fortino por estar siempre apoyándome en las buenas, pero sobre todo en las malas, por apoyar mi osadía y mis ganas de siempre querer más en la vida.

A Nayeli y Martha porque son cómplices de las locuras, las aventuras, pero sobre todo de las buenas decisiones en mi persona.

A mi compañero Rodrigo en este duro camino que jamás dejó de creer en mi persona, que me levanto del piso cada que me derrumbara, que soporto cada berrinche, cada lágrima, que me dio ánimos para seguir adelante, que me instruyó con sus conocimientos de ingeniero fregón y ayudarme a jamás desistir.

A mí Rex que no me abandonó jamás en esta maestría y por tener tanto amor en esas patitas y corazón.

A Tania porque siempre me apoyó de manera incondicional, porque encontré una persona que complementa mi falta de seriedad en la vida, y agradezco mucho que nuestros caminos se juntaran para no separarse jamás.

A mis amigos del Instituto de Ingeniería Alan y Mario que me enseñaron el trabajo de elaborar un ladrillo y el proceso, pero sobre todo me mostraron cómo sonreír siempre.

A mi tío Fidel porque siempre de pequeña me enseñó que estudiar me llevaría a ser mejor persona y me forjo la idea de superación siempre.

A el maestro Constantino por confiar en mí y brindarme la oportunidad de ser profesor, entendiendo lo difícil y complicado que es transmitir el conocimiento y porque gracias a su enseñanza conozco la gestión integral de los residuos.

Al doctor Soberón por su dedicación, por permitirme viajar a otro país y aunque una pandemia no me dejó aprender todo lo que tenía por enseñarme, aprendí que para ser un buen maestro en ingeniería se tiene que comenzar por lo básico.

Al doctor Enrique por mostrarme lo esencial de mi proyecto y lo importante de este.

A la doctora Neftalí por aceptarme en su grupo de trabajo y por confiar en mí.

A Javier, Jazmín, Blanca, Jaime, Joseph, Ángel, Guadalupe y todas las personas que de manera directa e indirecta impulsaron mi sueño de lograr un grado de maestra, de jamás rendirme y siempre esforzarme para dar un poco más.

Al gran entrenador Toño Solorzano entrenador de boxeo de la UNAM, quien perdió la batalla en esta difícil pandemia, me dolió su partida, pero me quedó lo mejor su fuerza y dedicación y la manera en que amó el boxeo, el deporte que me dio paz en este difícil camino.

Al Instituto de Ingeniería, a la Facultad de Ingeniería y al CONACYT por el apoyo, sin ellos esto no sería posible.

Y por último a Jorge Teruel sin su apoyo y valiosos consejos jamás me hubiera imaginado tener un logro más en la vida, por ser un líder y gran apoyo para mi persona.

*Por mi raza hablará el espíritu y por la victoria mis puños*

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1	Justificación	3
1.2	Objetivos	8
1.2.1	Objetivo general	8
1.2.2	Objetivos particulares	8
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO MARCO TEÓRICO</b>	<b>9</b>
2.1	Residuos sólidos en México	9
2.1.1	Generalidades	9
2.1.2	Composición de los RSU	11
2.1.3	Sitios de Disposición Final	12
2.1.4	La industria del plástico en México	13
2.1.5	El reciclaje actual	14
2.2	Residuos de manejo especial (RME)	16
2.2.1	Residuos en Europa clasificación	16
2.2.2	Residuos de manejo especial en México	16
2.2.3	Llantas	17
2.2.4	Residuos de la construcción y la demolición	19
2.2.5	Composición de los RCD	22
2.2.6	La disposición y aprovechamientos de los RCD	25
2.3	Reciclaje en México	26
2.3.1	Cifras	26
2.4	Tabicones en México	27
2.4.1	Generalidades	27
2.4.2	Dosificación	28
2.4.3	Clasificación	28
2.4.4	Dimensiones	29
2.4.5	Cifras de los bloques y tabicones de cemento	29
2.4.6	Demanda de productos en la construcción	32
2.5	La construcción sustentable	33
2.5.1	Residuos	34
2.5.2	Beneficios de la construcción sustentable	35
2.6	Antecedentes de alternativas sustentables para la elaboración de ladrillos	36
2.7	Normativa aplicable para la elaboración de ladrillos	38
2.7.1	NMX-C-404-ONNCCE-2013	38
2.7.2	Definiciones	38
2.7.3	Clasificación	39
2.7.4	NMX-036-ONNCCE-2013	40

2.7.5	NMX-C-037-ONNCCE-2013	42
2.7.6	NMX-C-038-ONNCCE-2013	45
2.7.7	Normativa internacional	46
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO METODOLOGÍA</b>	<b>47</b>
<b>3.1</b>	<b>Etapa 1-Investigación documental</b>	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>Etapa 2-Recuperación de los residuos</b>	<b>49</b>
<b>3.3</b>	<b>Etapa 3-Diseño de las mezclas</b>	<b>51</b>
3.3.1	Determinación de las mezclas	51
3.3.2	Descripción del diseño estadístico	52
3.3.3	Materias primas de los tabicones	52
3.3.4	Dimensión de los tabicones	53
3.3.5	Dosificación	53
3.3.6	Mezclado	54
3.3.7	Moldeo de los especímenes	54
3.3.8	Secado	55
3.3.9	Proceso de fabricación de tabicones	55
<b>3.4</b>	<b>Etapa 4-Pruebas de laboratorio</b>	<b>57</b>
3.4.1	Determinación de dimensiones	57
3.4.2	Prueba de absorción inicial	58
3.4.3	Resistencia a la compresión	59
3.4.4	Prueba absorción en porcentaje 24 h	60
<b>3.5</b>	<b>Etapa 5-Characterización de los residuos empleados</b>	<b>60</b>
3.5.1	Triturado de llanta	60
3.5.2	Residuos de construcción y demolición	62
3.5.3	PET	62
3.5.4	Bagazo	62
<b>3.6</b>	<b>Etapa 6-Evaluación y comparación de los especímenes</b>	<b>62</b>
3.6.1	Análisis de la varianza (ANOVA)	62
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO RESULTADOS</b>	<b>64</b>
<b>4.1</b>	<b>Etapa 1-Investigación documental</b>	<b>64</b>
4.1.1	Generación de residuos	64
4.1.2	Residuos de la construcción y la demolición	64
4.1.3	Plásticos	65
4.1.4	Llantas	66
4.1.5	Residuos del ingenio azucarero	67
4.1.6	Normativa aplicable a los tabicones	67
<b>4.2</b>	<b>Etapa 2-Recuperación de los residuos</b>	<b>68</b>
<b>4.3</b>	<b>Etapa 4-Pruebas de laboratorio</b>	<b>69</b>

4.3.1	Resultado de la prueba de resistencia-----	69
4.3.2	Determinación de la mezcla óptima -----	72
4.3.3	Prueba de resistencia-----	73
4.3.4	Prueba de absorción inicial-----	75
4.3.5	Prueba de absorción a 24 horas -----	77
<b>4.4</b>	<b>Etapa 5- Caracterización de los residuos -----</b>	<b>78</b>
4.4.1	Caracterización de las escamas/hojuelas de PET -----	78
4.4.2	Propiedades físicas -----	78
4.4.3	Conductividad térmica -----	79
4.4.4	Absorción de agua -----	79
4.4.5	Comportamiento frente a la temperatura -----	79
4.4.6	Comportamiento frente a factores atmosféricos -----	80
4.4.7	Propiedades Químicas-----	80
4.4.8	Residuos de la construcción y demolición-----	82
<b>4.5</b>	<b>Etapa 6-Análisis Estadístico -----</b>	<b>84</b>
<b>4.6</b>	<b>Etapa 7-Factibilidad técnica y comparativa ambiental -----</b>	<b>85</b>
<b>4.7</b>	<b>Etapa 8-Factibilidad económica -----</b>	<b>88</b>
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO CONCLUSIONES-----</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>CAPÍTULO RECOMENDACIONES-----</b>	<b>94</b>
<b>7</b>	<b>CAPÍTULO REFERENCIAS-----</b>	<b>95</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.- Transporte de residuos.....	4
Figura 2.- Generación estimada de RSU por entidad .....	11
Figura 3.- Composición porcentual promedio de los residuos .....	12
Figura 4.- Comportamiento de los RCD de 2005-2019 en Concretos Recicladados .....	17
Figura 5.- Produccion de llantas para automóvil y camioneta.....	18
Figura 6.- Residuos dispuestos en la Barranca Mixcoac .....	21
Figura 7.- Residuos de construcción “cascajo” en la vía pública.....	21
Figura 8.- Residuos reciclados en países de la OCDE, 2012 .....	27
Figura 9.- Valor de la producción en mayo, periodo 2007-2016 .....	30
Figura 10.- Área de distribución de comercialización de tabicón y bloque de concreto.....	31
Figura 11.- Problemática de la cadena de valor de bloques y tabicones de concreto .....	32
Figura 12.- Productos más utilizados para la construcción de muros .....	32
Figura 13.- Placas y bloques de acero .....	40
Figura 14.- Absorción inicial .....	44
Figura 15.- Medición con regla .....	45
Figura 16.- Etapas del proyecto .....	48
Figura 17.- Dimensiones y partes que conforman los tabicones .....	53
Figura 18.- Mezclado de los residuos y cementantes para el tabicón.....	54
Figura 19.- Máquina moldeadora de ladrillo.....	55
Figura 20.- Proceso constructivo para la fabricación de los especímenes .....	56
Figura 21.- Dimensiones de los especímenes elaborados.....	57
Figura 22.- Prueba de absorción inicial .....	58
Figura 23.- Procedimiento para llevar acabo la prueba de compresión .....	59
Figura 24.- Procedimiento para llevar acabo la prueba absorción a 24 h.....	60
Figura 25.- Residuos de la construcción en el proceso de triturado .....	64
Figura 26.- Clasificación granulométrica .....	65
Figura 27.- Hojuelas de PET .....	66
Figura 28.- Polvo de llanta.....	66
Figura 29.- Bagazo recolectado del ingenio Casasano .....	67
Figura 30.- Bagazo y RCD.....	68
Figura 31.- Triturado de llanta y hojuela de PET .....	68
Figura 32.- Cabeceo de los tabicones .....	69
Figura 33.- Prueba de resistencia .....	69
Figura 34.- Evaluación de resistencia a la compresión en tabicones.....	71
Figura 35.- Tabicones de RCD y PET .....	72
Figura 36.- Tabicones de RCD y PET .....	73
Figura 37.- Resistencia de los tabicones de PET y RCD.....	74
Figura 38.- Desviación estándar y promedio de los tabicones de RCD-PET 5%.....	74
Figura 39.- Secado de los tabicones para la prueba de absorción.....	75
Figura 40.- Prueba de absorción en tabicones.....	75

Figura 41.- Absorción máxima inicial para tabicones de RCD-PET 5% y RCD .....	76
Figura 42.- Absorción a 24 horas en porcentaje para tabicones de RCD-PET 5%.....	77
Figura 43.- Curva granulométrica de residuos de construcción un cuarto a finos .....	83

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1.- Generación de residuos por entidad federativa.....	5
Tabla 2.- Actividades específicas de la fabricación de los plásticos.....	13
Tabla 3.- Clasificación de residuos con potencial reciclable .....	15
Tabla 4.- Producción de llantas en México en el periodo 2012-2018 .....	19
Tabla 5.- Estimación de la generación de RCD en el 2018 para México.....	20
Tabla 6.- Cantidades de materiales de construcción empleadas usualmente .....	22
Tabla 7.- Residuos generados en las obras de ingeniería civil .....	24
Tabla 8.- Clasificación de los bloques .....	29
Tabla 9.- Usos recomendables para bloques de cemento, tabicones y tabiques.....	29
Tabla 10.- Dimensiones de los bloques de cemento, tabiques y tabicones.....	29
Tabla 11.- Clasificación de piezas de acuerdo con los materiales empleados para su fabricación .....	39
Tabla 12.- Normativa complementaria .....	39
Tabla 13.- Resistencia a la compresión .....	42
Tabla 14.- Absorción de agua.....	45
Tabla 15.- Residuos recuperados.....	50
Tabla 16.- Diseño de mezclas utilizadas en la fabricación de tabicones .....	52
Tabla 17.- Dosificación base del tabicón .....	54
Tabla 18.- Composición media de los neumáticos usados (%) .....	61
Tabla 19.- Propiedades físicas del triturado de llanta .....	61
Tabla 20.- Normativa aplicable para pruebas en ladrillos .....	68
Tabla 21.- Resultados de resistencia a la compresión.....	70
Tabla 22.- Dosificación de la mezcla óptima para los tabicones en porcentaje peso .....	72
Tabla 23.- Dosificación del tabicón base en porcentajes peso .....	72
Tabla 24.- Resistencia de tabicones de PET y RCD.....	73
Tabla 25.- Absorción máxima inicial de agua en tabicones.....	76
Tabla 26.- Media de absorción .....	76
Tabla 27.- Porcentaje de absorción a 24 horas de los tabicones de RCD-PET .....	77
Tabla 28.- Densidad del PET.....	78
Tabla 29.- Absorción de Agua .....	79
Tabla 30.- Comportamiento del PET frente a la temperatura .....	80
Tabla 31.- Resistencia del PET a diversos químicos .....	81
Tabla 32.- Granulometría de residuos de construcción .....	82
Tabla 33.- Resistencia de los tabicones a comparar .....	84
Tabla 34.- Resultados del análisis de varianza .....	84
Tabla 35.- Evaluación de la factibilidad técnica .....	85
Tabla 36.- Comparativa ambientales de los tabicones sustentables.....	87
Tabla 37.- Flujo de caja.....	89
Tabla 38.- Resumen costos .....	90
Tabla 39.- Inversión .....	90
Tabla 40.- Egresos Operativos .....	91

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.- Resistencia a la compresión	41
Ecuación 2.-Coeficiente de absorción inicial	44
Ecuación 3.- Absorción en porcentaje 24 h	44
Ecuación 4.- Análisis de varianza	63
Ecuación 5.- Error aleatorio asociado al tratamiento	63
Ecuación 6.- Varianza entre grupos $F_c$ calculada	63
Ecuación 7.- Coeficiente de uniformidad	83
Ecuación 8.- Coeficiente de curvatura	83



## LISTA DE ACRÓNIMOS

INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LPGGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SDF	Sitio de Disposición Final
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
RCD	Residuos de la construcción y la demolición
CMIC	Cámara Mexicana de la Industria y la Construcción
DOF	Diario Oficial de la Federación
SERpro	Servicios Profesionales para el Desarrollo Económico, S.C.
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RME	Residuos de Manejo Especial
LPGGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
CCVC	Contaminantes Climáticos de Vida Corta
ONNCCE	Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente
FIIC	Federación Interamericana de la Industria de la Construcción
ICT	Instituto de Ciencia y Tecnología
ICC	Consejo Internacional de Código
NFU	Neumáticos Fuera de Uso
EMIM	Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera
BTC	Bloque de Tierra Compactada
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
PEAD	Polietileno de Alta Densidad
PEBD	Polietileno de Baja Densidad
PP	Polipropileno
PVC	Cloruro de polivinilo
PS	Poliestireno
PET	Polietilentereftalato
LER	Lista Europea de Residuos
EPA	Environmental Protection Agency

# 1 CAPÍTULO INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la generación de residuos sólidos urbanos ha incrementado considerablemente cifras del informe del Banco Mundial prevé que en el curso de los próximos 30 años la generación de desechos a nivel mundial, impulsada por la rápida urbanización y el crecimiento de las poblaciones, en 2016, se generaron 2,010 millones de toneladas de residuos municipales en el mundo, 0.74 kilos por habitante/día de seguir con estas cifras para el 2050 se generaran 3400 millones de toneladas a nivel mundial (Kaza, 2018).

Los países de ingreso alto, si bien representan el 16 % de la población mundial, generan más de un tercio (34 %) de los desechos del mundo. La región de Asia oriental y el Pacífico genera casi un cuarto (23 %) del total. Asimismo, se espera que para 2050 la generación de desechos en las regiones de África al sur del Sahara y Asia meridional se triplique y se duplique con creces, respectivamente. Los plásticos son especialmente problemáticos. Si no se recolectan y gestionan adecuadamente, contaminarán y afectarán los cursos de aguas y los ecosistemas durante cientos, sino miles, de años. Según el informe, en 2016 se generaron en el mundo 242 millones de toneladas de desechos de plástico, que representan el 12 % del total de desechos sólidos (Kaza, 2018).

Además, la gestión de residuos urbanos no es nada barata, en los países con nivel de renta más bajo el manejo de los residuos municipales representa el elemento más caro para las administraciones locales. De media, esta gestión llega a suponer el 20% del presupuesto municipal, mientras que, en los estados con un nivel adquisitivo medio, suele acaparar el 10% del presupuesto municipal y, en los países con mayor nivel de renta, comporta en torno al 4%. Para ello, distingue entre la diferente generación, gestión e impacto de los residuos en los países según sus ingresos. En términos de renta nacional bruta per cápita, los clasifica como: países de ingresos bajos (menos de 1.025 dólares al año), como Uganda o Afganistán; de ingresos medio-bajos (entre 1.025 y 4.035 dólares), como Sudán o Ucrania; de ingresos medio-altos (entre 4.036 y 12.475 dólares), como China, Rusia y la mayor parte de América Latina; y de ingresos altos (más de 12.476 dólares), como Estados Unidos, Canadá, Australia y la mayoría de Europa (Kaza, 2018).

Siguiendo los patrones de consumo a nivel mundial en México la industrialización que se presentó en durante la segunda mitad del siglo pasado, produjo una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población en aumento, con patrones de consumo cambiante y cada vez más demandante. Ha impactado de forma significativa el volumen y la composición de los residuos producidos por las sociedades del mundo (SEMARNAT, 2012).

La demanda de recursos naturales que implica el crecimiento demográfico, las emisiones y liberaciones nocivas al ambiente (en aire, agua y suelos) en las áreas urbanas, y una persistente explotación de los recursos naturales debido a la demanda, es lo que vive México actualmente (Pérez, 2010). Las consecuencias de dichas actividades y de la mala disposición, como el bajo porcentaje de reutilización o reciclaje de los residuos provocan impactos negativos que repercuten directo en la población y el

ambiente. En México los Residuos Sólidos Urbanos (RSU), se generan como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, los que provienen de establecimientos, de la vía pública, o los que resultan de la limpieza de las vías o lugares públicos con características similares a los materiales domésticos. Su manejo y control es competencia de las autoridades municipales y delegacionales. Los Residuos de Manejo Especial están definidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos como aquéllos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o peligrosos, o que son producidos por grandes generadores de residuos (LGPGIR; DOF, 2018).

Los Residuos de Manejo Especial (RME), son generados en los procesos productivos, su manejo y control es competencia de las entidades federativas (DOF, 2004).

De manera paralela el crecimiento de la industria de la construcción en México es el motor del crecimiento con un aumento anual para el 2016 del 1.8% (CMIC, 2017).

Derivado de los problemas de generación de residuos de la construcción y aunado a la gran demanda de productos en la misma industria, el presente trabajo tiene como objetivo encontrar un nuevo uso de los residuos para que se puedan incorporar en procesos productivos, procedente de los problemas de la alta demanda de materiales en la industria de la construcción se encontró que la elaboración de uno de los productos indispensables para la construcción de viviendas, edificios y un sinnúmero de obras son los tabicones, y en su proceso de fabricación se acentúa el uso de materias primas vírgenes como grava, arena, granzón, tepecil entre otros, para poder tener un producto terminado, la explotación de minas y bancos para la extracción de estas materias primas acarrea problemas para satisfacer la demanda de estos productos. Los problemas inherentes a este tipo de extracción es la pérdida de la cobertura vegetal, erosión, afectación al paisajismo, afectación al recurso hídrico, contaminación del aire, generación de ruido, así como creación de lagos o fosas (Ramírez, 2008).

Por lo tanto resulta necesario hacer uso de alternativas para poder sustituir estas materias primas que se extraen y generan grandes problemas al ambiente, y al apreciar que en el ámbito mexicano la gran cantidad de residuos que se generan puede ser valorizables así como aprovechables, se busca una solución eficiente para el reúso como materia prima para ser incorporado a la industria de la producción de tabicones, ayudando a disminuir los impactos ambientales y daños a la salud derivados de dicha producción.

## **1.1 Justificación**

Los residuos sólidos son un problema que se ha incrementado con el paso del tiempo debido al crecimiento poblacional, la falta de acciones de reciclaje, aunado a un mayor consumo de bienes y servicios (INECC, 2012). La importancia del tema de la generación de residuos como su manejo no involucra sólo los efectos ambientales y de salud pública también está implícito, desde otro ángulo, el

uso de los recursos naturales. La gestión integral de los residuos y lo que actualmente es llamada economía circular, además de procurar reducir su generación y conseguir su adecuada disposición final, también puede dar como resultado colateral una menor extracción de recursos (evitando que se agoten), como de energía y agua que se utilizan para producirlos, disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero, acompañado de múltiples beneficios a corto y largo plazo (SEMARNAT, 2015).

A nivel mundial las cifras sobre generación de residuos demuestran el acelerado crecimiento de los números y la poca o nula respuesta a dicho problema, a nivel mundial se producen más de 2.100 millones de toneladas de desechos cada año, lo que podría llenar más de 800.000 piscinas olímpicas. Tan solo un 16% (323 millones de toneladas) de esa basura es reciclada. De los países desarrollados Estados Unidos produce un 12% de los desechos mundiales o cerca de 239 millones de toneladas, aunque el país tiene solo un 4% de la población global. En comparación, China e India, que juntos constituyen alrededor de un tercio de la población mundial, generan 27% de los residuos globales. La cantidad de desechos generados por persona está fuertemente relacionada con los ingresos y el desarrollo económico, en general, países de Europa Occidental y Norteamérica son los que cuentan con la mayor generación de residuos en la figura 1 se observan vehículos de transporte de residuos (BBC, 2019).

Se generaron en el mundo 242 millones de toneladas de desechos de plástico, que representan el 12 % del total de desechos sólidos. Los plásticos son especialmente problemáticos si no se recolectan y gestionan adecuadamente, ya que contaminan el agua siendo esta necesaria para la subsistencia del hombre (Kaza, 2018).

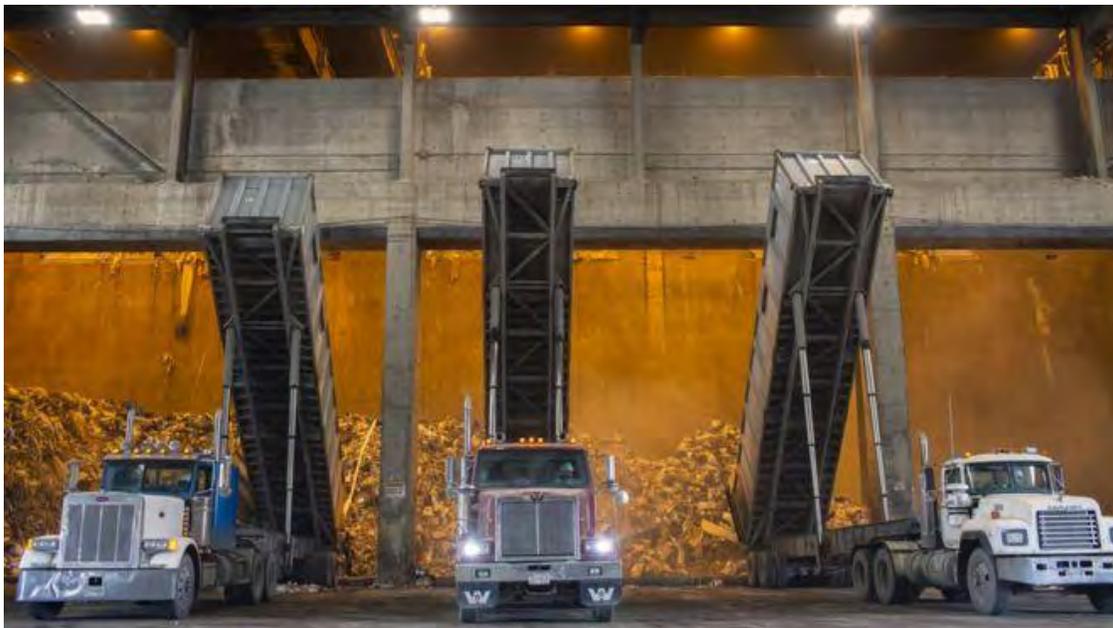


Figura 1.- Transporte de residuos  
Fuente: BBC, 2019

Para el caso de México las cifras sobre generación de residuos se obtuvieron diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos publicado por el INECC, (2020) donde se encontraron las cifras y estimaciones más actuales dando como resultado la generación per cápita dividido en origen domiciliario con 0.653 kg/hab/día y de origen no domiciliario con 0.291 kg/hab/día dando una generación de 0.944 kg/hab/día en el país. Para calcular la generación per cápita se dispuso de 287 datos, todos ellos respaldados en estudios de generación y composición, realizados de acuerdo con la normatividad en la materia, la generación total de residuos en el país se estima en 120,128 t/día en la tabla 1 se observa la generación por entidad federativa por día (SEMARNAT, 2020).

Tabla 1.- Generación de residuos por entidad federativa

Entidad federativa	Toneladas por día	Entidad federativa	Toneladas por día
Aguascalientes	1,330	Morelos	1,878
Baja California	3,535	Nayarit	1,146
Baja California Sur	737	Nuevo León	5,310
Campeche	888	Oaxaca	3,538
Chiapas	4,964	Puebla	5,991
Chihuahua	3,638	Querétaro	2,085
Ciudad de México	9,552	Quintana Roo	1,546
Coahuila de Zaragoza	3,032	San Luis Potosí	2,640
Colima	743	Sinaloa	3,068
Durango	1,767	Sonora	2,916
Estado de México	16,739	Tabasco	2,471
Guanajuato	6,031	Tamaulipas	3,591
Guerrero	3,421	Tlaxcala	1,123
Hidalgo	2,694	Veracruz	7,813
Jalisco	7,961	Yucatán	2,016
Michoacán	4,459	Zacatecas	1,505
<b>Nacional</b>	<b>120,128 t/día</b>		

Fuente: (Adaptado de SEMARNAT, 2020)

En cuanto a la clasificación de los RSU el 31.56 % corresponde a residuos susceptibles de aprovechamiento, el 46.42 % a residuos orgánicos y el 22.03 % a otros residuos, de los residuos generados se recolectan 100,751 t/día, para una cobertura a nivel nacional del 83.87 %, para la transferencia de residuos en el país existen 127 instalaciones para la transferencia de residuos, ubicadas en 112 municipios de 23 Entidades Federativas, de ellas, el 49.61 % se ubican en municipios con población superior a 100,000 habitantes. La recolección separada en el país solo se realiza en 144

municipios, de 23 entidades federativas y en las 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, con lo cual diariamente se recolectan separadamente 7,014 t de residuos, el 6.70 % del total de los residuos recolectados siendo de estos 3,519 t de residuos inorgánicos y 3,495 t de residuos orgánicos. De acuerdo con el informe el tratamiento de residuos se lleva a cabo en 47 plantas donde se realizan los procesos de:

- a) Separación o reciclaje en 26
- b) De trituración en 5
- c) De compactación en 13
- d) De compostaje en 19
- e) Biodigestión en 5

La recolección y disposición de los residuos sólidos urbanos en el país se lleva con una eficiencia del 80%, pero la gran mayoría de estos residuos paran en rellenos sanitarios, sitios no autorizados o tiraderos a cielo abierto, siendo un porcentaje muy bajo el que se aprovecha para generar energía, materias primas o incorporarse a nuevos procesos, otro problema radica en los RME, de acuerdo a las cifras que se tiene estas solo provienen de las empresas o giros que cuentan con planes de manejo, algunas estimaciones, ya que estos números son escasos, es necesario llevar a cabo estudios más profundos y con información real de los residuo. De acuerdo con las cifras más actuales sobre los rellenos o sitios de disposición final se tiene que de los 2,203 sitios 190 sitios (8.62%) cuentan con báscula para el pesaje de los residuos, 359 sitios (16.30%) cuentan con infraestructura para la captación de lixiviados, y 25% con tratamiento de éstos, 213 sitios (9.67%) cuentan con infraestructura para la captura de biogás, 326 sitios (14.80%) cuentan con geomembrana para aislar a los residuos del suelo, 955 sitios (43.35%) cuentan con cerca perimetral, 1,053 sitios (47.80%) no cuentan con infraestructura básica para la protección del ambiente, en 753 sitios (34.18%) se tiene control de acceso, en 417 sitios (18.93%) se tiene control de los residuos que ingresan (SEMARNAT, 2020).

De acuerdo con cifras sobre la generación de residuos sólidos urbanos, uno de los subproductos que se encuentra presente son los plásticos, a nivel mundial el grupo de las poliolefinas es uno de los más representativos, a este pertenecen el PET, llantas, bolsas plásticas, embalajes, bienes de uso doméstico, muebles y tuberías en la industria de construcción, que son imprescindibles para los procesos industriales. Estos productos están hechos con polímero polietileno o polipropileno que son los representantes más grandes de las poliolefinas, el grupo más numeroso de los plásticos (Chemische, 2009).

En México del total consumido de plásticos, más de 1 millón de t/año se convierten en desecho, aunque ya se producen polímeros biodegradables naturales como sustituto de los convencionales, el problema es que los derivados del petróleo son más baratos haciendo que desde el punto de vista económico los otros no sean competitivos (Espín, 2007).

Como parte de los residuos de manejo especial que se generan en grandes cantidades en el país, se encuentra el rubro III. Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de insumos, al cual pertenecen los residuos de la industria azucarera, en donde se genera grandes cantidades de residuos que suelen reutilizarse como enmienda agrícola y para disminuir el proceso de degradación del suelo (Basanta, 2007). En México para el 2017 se produjeron 56 millones de toneladas de caña de azúcar (Presidencia de la República, 2014-2015), tan sólo en el ingenio Casasano se reciben al día 192 camiones fletados, su capacidad de molienda diaria es de 3,273 toneladas de caña, de la generación de residuos solo 3,338 toneladas se utilizan en composta, otra parte se emplea para generar energía y el resto se desperdicia, de acuerdo con datos del ingenio azucarero buscan nuevas alternativas para el reciclaje o reuso de sus residuos, debido a que las cantidades generadas rebasan las reutilizadas.

De manera paralela el crecimiento de la industria de la construcción es de 3.5% promedio anual estimada; con una generación de residuos que se estima en 12 millones de t/año, de estas 30,000 t/día a nivel nacional, (PNPGIR, 2009-2012) de los cuales 7,000 t/día son generadas en la Ciudad de México (NADF-007-RNAT-2013).

Se estima que en la actualidad sólo el 4% de los RCD que se generan, son aprovechados (3% reciclaje y 1% reuso). Algunas entidades federativas han implementado para el manejo de los RCD, padrones de prestadores de servicios, que incluyen la recolección y el transporte de dichos residuos, en algunos casos centros de acopio, transferencia e incluso sitios de disposición final. No obstante, a lo anterior, la gestión en materia de RCD presenta serias deficiencias, ya que son pocas las entidades que cuentan con infraestructura para proporcionar un manejo adecuado a los residuos que se generan en cada demarcación (CMIC, 2014). En la Ciudad de México sólo hay un centro autorizado por la SEDEMA para el reciclado de materiales pétreos derivados de la construcción y la demolición, siendo una planta privada que lleva por nombre Concretos Reciclados fundada desde 2004 y se encuentra ubicada en la alcaldía Iztapalapa cuenta con una capacidad de producción diaria de 2,000 toneladas, siendo esta la única en la CDMX, para la disposición final (confinamiento) existe el Centro de Transferencia Cuemanco ubicado en Xochimilco. La SEDEMA cuenta con 14 centros autorizados para este fin, todos están ubicados en el Estado de México (Concretos Reciclados, 2019).

El problema ambiental que conlleva la generación de residuos de la construcción se deriva no sólo en el creciente volumen de su generación, también en su manejo, tratamiento y reincorporación al ciclo de la construcción, que todavía hoy es insatisfactorio o nulo en la mayoría de los casos.

La generación de residuos es un grave problema, de acuerdo con las cifras, los sitios de disposición final se están volviendo insuficientes sin tomar en cuenta las pésimas condiciones y la baja tasa de recuperación de subproductos valorizables, es por ello por lo que el presente trabajo se enfoca en 4 residuos de alta tasa de generación como son los residuos de la construcción, las poliolefinas y los residuos de la industria azucarera para incorporarlos en un proceso productivo.

Por lo antes expuesto sobre los residuos provenientes de distintos procesos de generación clasificados como RME por las cantidades generadas, se encuentra la necesidad de valorizar los residuos, generando productos para la industria de la construcción como son los tabicones, que es uno de los elementos necesarios en la construcción de viviendas y edificios, de los cuales la producción de estos cuenta con problemas serios debido a los daños que provoca la extracción de las materias primas para la fabricación.

Como consecuencia de lo anterior, el uso de materias primas para materiales de la construcción tiene varios aspectos problemáticos inherentes, relacionados con la dependencia económica del sector construcción y bajos precios del material, por lo tanto se requiere la extracción de grandes volúmenes, deficiencias en la contratación de personal, bajos sueldos, carencia de prestaciones sociales, deficiente relación con la comunidad vecina, generación de conflictos ambientales minería y explotación artesanal de gran impacto ambiental, extracción ilegal, entre otros daños al ambiente (Ramírez, 2008).

Existen estimaciones realizadas por la ANEFA (Asociación Nacional de Empresarios Fabricantes de Áridos) arrojan cifras sobre el consumo de áridos para la industria de la construcción estiman que en el 2005 se consumieron 460.3 millones de toneladas. Siendo el consumo per cápita de áridos para la construcción, de casi 11 toneladas por habitante al año, superando la media europea, que se sitúa en torno a 7 toneladas por habitante al año, según sus cifras cada persona consume, en su vida, cerca de 850,000 kilogramos áridos, más de 10,000 veces su peso, cantidad equivalente a la transportada en 32 camiones (Paot, 2010).

La creciente demanda de los bienes y servicios además de las exigencias de calidad generan impactos importantes sobre los recurso y el ambiente, extrayendo grandes cantidades y generando el doble de residuos. Por lo tanto, debe considerarse como una de las razones por las que se adopten medidas de reciclaje y reusó de los residuos en general (PAOT, 2010).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Analizar el posible uso de los residuos de la construcción, las poliolefinas y del ingenio azucarero para el sector de la industria de la construcción, con el fin de valorizar los residuos.

### **1.2.2 Objetivos particulares**

1.- Evaluar la información de los residuos de la construcción, las poliolefinas y del ingenio azucarero que sea útil para su posible incorporación en un proceso productivo.

- 2.- Establecer el procesamiento de RCD, las poliolefinas y del ingenio azucarero para fabricar materiales que se puedan emplear en la industria de la construcción fabricando tabicones, para disminuir el impacto ambiental que generan dichos residuos.
- 3.- Desarrollar un diseño experimental adecuado de mezclas utilizando los residuos obtenidos de las industrias ya mencionadas para fabricar tabicones que cumplan con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2013.
- 4.- Someter los tabicones a pruebas de resistencia y absorción basados en la norma NMX-C-404-ONNCCE-2013.
- 5.- Valorar los materiales empleados para la elaboración de los tabicones.
- 6.- Generar distintos tabicones para determinar la mejor mezcla, a partir de las pruebas realizadas conforme a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2013.
- 7.- Probar la factibilidad técnica de la elaboración de los tabicones a partir de residuos provenientes de la industria de la construcción, de las poliolefinas y del ingenio azucarero como propuesta alternativa para el reciclaje.
- 8.- Argumentar los beneficios económicos y ambientales de las mezclas que resulten óptimas para la elaboración de los tabicones.

## **2 CAPÍTULO MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Residuos sólidos en México**

#### **2.1.1 Generalidades**

Con una superficie cercana a los 2 millones de kilómetros cuadrados, México albergó en 2015 una población de 119, 938,473 personas (INEGI, 2015). A pesar de lo vasto del territorio, éste se ha visto sometido a presiones importantes por el crecimiento poblacional, pues la población mexicana se duplicó entre 1970 y 2000 (Pérez, 2010). La producción, así como el consumo de bienes y servicios para satisfacer las necesidades de esta población generan algún tipo de residuos. Éstos pueden ser sólidos (ya sea de naturaleza orgánica o inorgánica), líquidos (que incluyen a los que se vierten disueltos como parte de las aguas residuales) y los que escapan en forma de gases. Todos ellos, en función de su composición, tasa de generación y manejo pueden tener efectos muy diversos en la población y el ambiente (SEMARNAT, 2015). Con base en lo dispuesto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR; DOF, 2003). Se clasifican de acuerdo con sus características y orígenes en tres grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se definen como los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que

consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (DOF, 2003).

Los RSU son un problema que se incrementa con el paso del tiempo dado el crecimiento poblacional, falta de acciones de reciclaje, así como mayor consumo de bienes y servicios. De los residuos generados se recolectan 100,751 t/día, para una cobertura a nivel nacional del 83.87% (SEMARNAT, 2020).

La recolección separada de residuos se realiza en 144 municipios, de 23 entidades federativas y en las 16 demarcaciones territoriales de la Ciudad de México. A diario se recolectan de forma separada 5,281 t de residuos, alrededor del 5% del total de los residuos recolectados en el país: 2,062 t de residuos orgánicos y 3,219 t de residuos inorgánicos.

De acuerdo con el artículo 10 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos urbanos, que consisten en la recolección, traslado, tratamiento, y su disposición final (LGPGIR, DOF 2018).

Las cifras sobre la generación de RSU a nivel nacional reportadas en los últimos años presentan limitaciones importantes, porque se trata de estimaciones y no de mediciones directas. De manera general, se observa que la generación de RSU se incrementó en los últimos años; tan sólo entre 1997 y 2012 creció 43.8%, de 29.3 a 42.1 millones de toneladas, como resultado principal del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, y el cambio en los patrones de consumo (SEMARNAT, 2012). Para el 2017 se estimó que se generan 42 millones de toneladas en el país, de los cuales se recolectan 83.93% y se disponen en sitios de disposición final 78.54%, reciclando solo el 9.63% de los residuos generados.

En trabajos recientes como es el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos del 2020 de SEMARNAT, se estimó a partir de los datos de generación per cápita por tamaño de municipio y la cantidad de habitantes reportado por el INEGI, en el Censo de Población de 2015, la generación de residuos a nivel nacional en 120,128 t/día; 17,233 t/día más que las estimadas en el Diagnóstico Básico de la Gestión Integral de los Residuos 2012.

La generación de RSU por entidad se observan en la figura 2 donde se aprecia que el Estado de México, la Ciudad de México y Jalisco generan 28.5% de los residuos del país, y que los estados de Baja California Sur, Colima y Campeche representan en conjunto apenas un 2.3% del total nacional. Veintitrés entidades federativas presentan valores de generación de residuos inferior al promedio nacional (SEMARNAT, 2020).

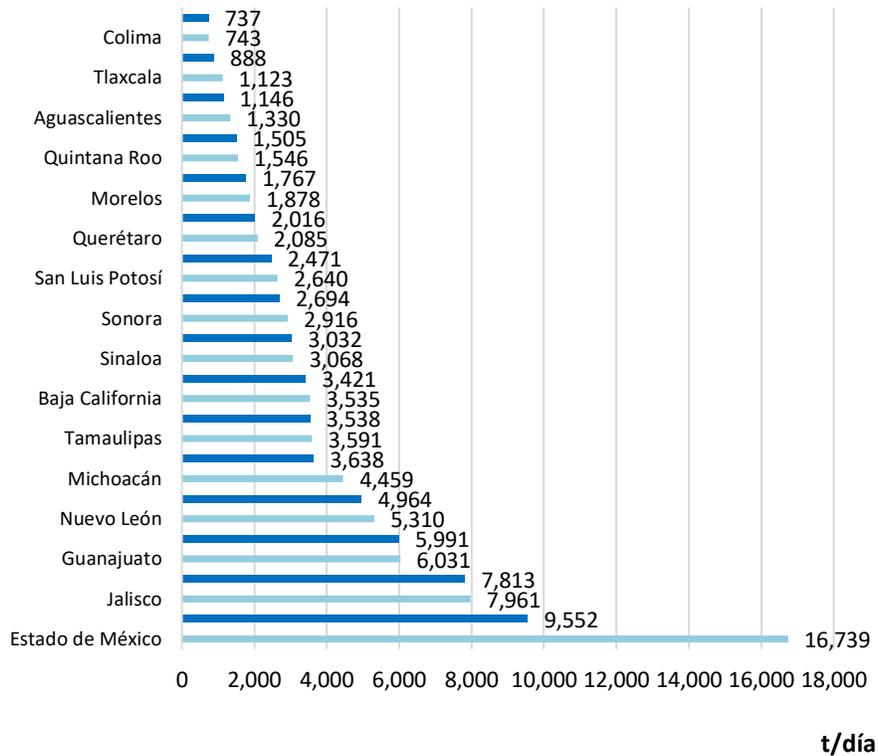


Figura 2.- Generación estimada de RSU por entidad  
Fuente: (Adaptado de SEMARNAT, 2020)

### 2.1.2 Composición de los RSU

El conocimiento de la composición de los residuos se utiliza para determinar los subproductos o fracciones de los residuos aprovechables o que puedan ser valorizados, y cuáles serían los sistemas más adecuados para ello. En general, la predominancia de residuos orgánicos o inorgánicos se asocia a la condición económica de la población: en los países con menores ingresos dominan los de composición orgánica, mientras que en los países con mayores ingresos los residuos son inorgánicos, con una cantidad importante de productos manufacturados (Acurio, 1997). México está cambiando hacia una composición con una menor predominancia de residuos orgánicos: en la década de los años 50, el porcentaje de residuos orgánicos oscilaba entre 65% y 70% de su volumen, en la figura 3 se puede observar que en 2020 esta cifra se redujo a 33.07% de residuos alimentarios y un 10.84% residuos de jardinería siendo componentes importantes de los residuos que se producen en el país.

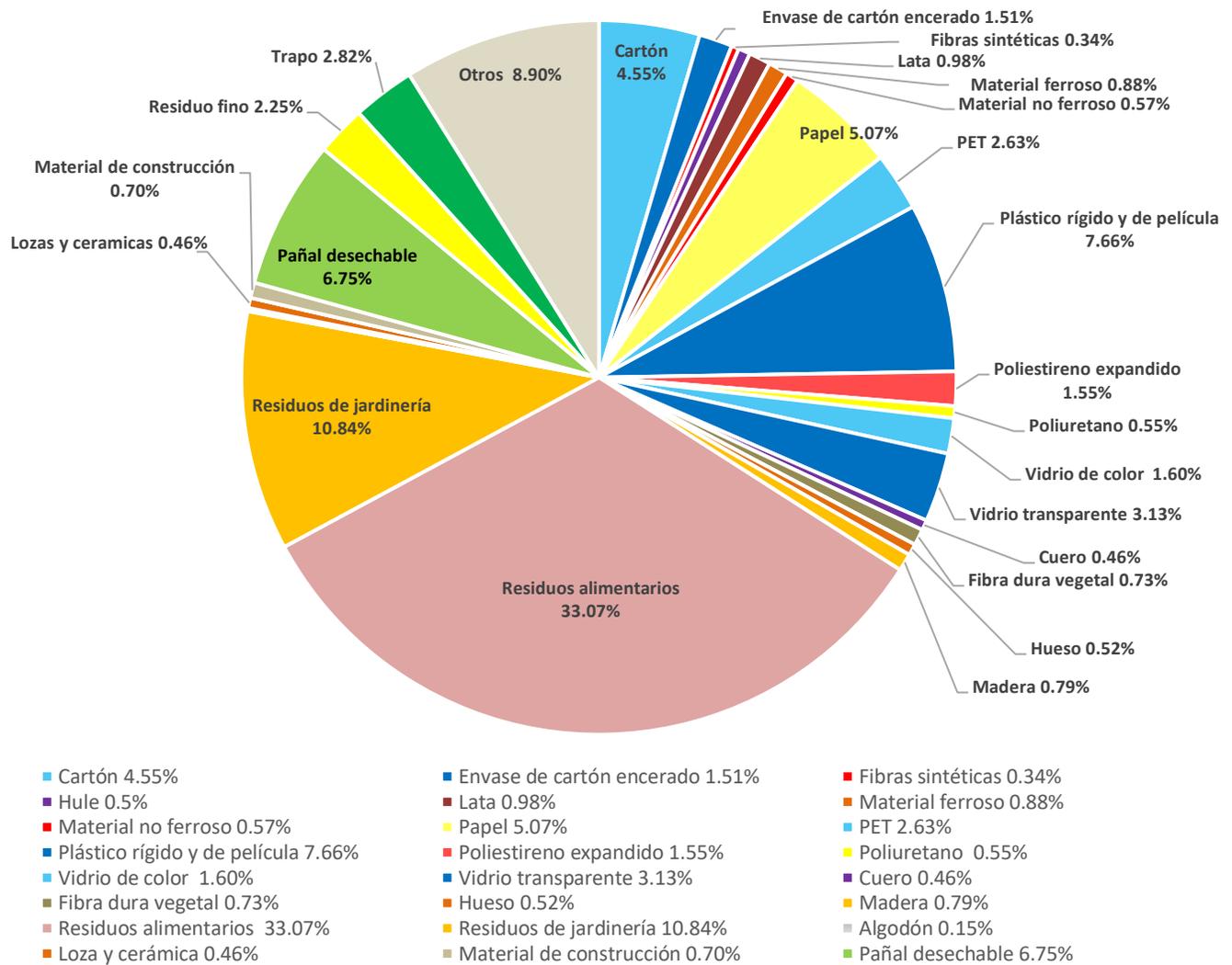


Figura 3.- Composición porcentual promedio de los residuos  
Fuente: (Adaptado de SEMARNAT, 2020)

La composición de los residuos sólidos urbanos es un parámetro de importancia para proponer su manejo enfocado a la valorización y con ello dimensionar las plantas de tratamiento y los sitios de disposición final.

### 2.1.3 Sitios de Disposición Final

El manejo de los RSU involucra la generación y flujo de residuos, métodos de recolección, transporte, transferencia, sistemas de separación, valorización, aprovechamiento y disposición final, de los que se pueden obtener distintos tipos de beneficios a partir de estos materiales residuales, influyendo distintas áreas, tales como ambientales, sociales y económicas. En México la opción de la disposición de residuos a la que más se recurre es el relleno sanitario, ya que su relación beneficio-costos es la alternativa más flexible para este tipo de productos pues el valor económico termina siendo al que se le da más importancia en los procesos de gestión (Ceñal, 2015), sin embargo, a futuro se deben visualizar

alternativas que maximicen la valorización minimizando la generación y que el envío de residuos a los rellenos sanitarios sea solo para aquellos que no pueden tener un segundo ciclo de vida o uso.

De acuerdo con los datos del Diagnostico Básico de la Gestión Integral de los Residuos en el año 2017 ingresaron en los 2,203 sitios de disposición final (SDF), un promedio de 86,352.7 t/día de residuos, estos sitios están ubicados en 1,722 municipios, de todas las entidades federativas, a excepción de la Ciudad de México, que no cuenta con este tipo de instalaciones (SEMARNAT, 2020)

Los datos disponibles no permiten clasificar a los SDF como “rellenos sanitarios”, “sitios controlados” o “sitios no controlados”. Sin embargo, el análisis de las características de los SDF señala que se depositan 34,726 t/día, el 40.21% del total, en 82 sitios, ubicados en 79 municipios, de 28 entidades federativas, que cumplen todas las características básicas de infraestructura y de operación consideradas en la Cédula de Recolección de Datos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2017 del INEGI. Por el contrario, 3,695 t/día, el 4.28% del total, se depositan en 685 sitios de disposición final ubicados en 509 municipios, de 27 entidades federativas, en los que no se cumple ninguna de las características básicas de infraestructura y de operación señaladas en el censo citado (SEMARNAT, 2020).

#### 2.1.4 La industria del plástico en México

La industria del plástico tiene un alto impacto económico en la fabricación de un sin número de productos manufacturados y por ende en el consumo de las personas. El valor de producción de la fabricación de productos de plástico fue de 292 mil millones de pesos, (INEGI, 2014) en la tabla 2 se observan actividades específicas en la fabricación de los plásticos.

Tabla 2.- Actividades específicas de la fabricación de los plásticos

Fabricación de bolsas y películas de plástico flexible
Fabricación de tubería y conexiones y tubos para embalaje
Fabricación de laminados de plástico rígido
Fabricación de espumas y productos de poliestireno
Fabricación de espumas y productos de uretano
Fabricación de botellas de plástico
Fabricación de productos de plástico para el hogar con y sin reforzamiento
Fabricación de autopartes de plástico con y sin reforzamiento
Fabricación de envases y contenedores de plástico para embalaje con y sin reforzamiento
Fabricación de otros productos de plástico de uso industrial sin reforzamiento
Fabricación de otros productos de plástico con reforzamiento
Fabricación de otros productos de plástico sin reforzamiento

Fuente: (Adaptado de INEGI, 2014)

Sin duda, los plásticos están entre los materiales más utilizados a escala mundial, en México se estima que se producen 300 millones de toneladas de plásticos al año, de las cuales sólo se recicla 3% (Santillán, 2018).

En todo el mundo se realizan distintos estudios sobre los plásticos para conocer, entre otras cosas, su ciclo de vida, su impacto ambiental y en la salud, sus formas de reciclaje o nuevas materias primas para obtenerlo.

La composición de los residuos plásticos suele estar formada principalmente por polímeros y los más abundantes son polietileno de alta densidad (PEAD), polietileno de baja densidad (PEBD), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS) y polietilentereftalato (PET). Es de destacar que el conjunto de las poliolefinas (PE y PP) más el poliestireno representan más o menos un 70% del total (INECC, 2012).

### **2.1.5 El reciclaje actual**

Reciclaje se denomina a la transformación de los materiales o subproductos contenidos en los residuos sólidos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico. El reciclaje pretende convertir algunos de los materiales que componen los residuos (entre los más importantes están el papel y cartón, el vidrio, algunos metales y el PET) en materiales reusables en los procesos productivos. Desde el punto de vista de la gestión de los residuos, el reciclaje tiene la ventaja de reducir el volumen de materiales que requieren ser recolectados, transportados y dispuestos en sitios adecuados.

A nivel nacional, se estiman 38,351 t/día de residuos aprovechables mediante el reciclaje o la recuperación de energía; 56,427 t/día de residuos orgánicos que pueden ser tratados mediante compostaje o biodigestión; y 26,779 t/día de otros residuos, que posiblemente no sean aprovechables (SEMARNAT, 2020).

La revalorización de los residuos también disminuye el consumo de materias primas, electricidad y agua, entre otros insumos, que serían necesarios para la extracción y procesamiento de nuevos materiales (SEMARNAT, 2015). En la tabla 3 se observan los porcentajes para los residuos inorgánicos con potencial reciclable con un 25.89%, que se podría reintegrar a distintos procesos productivos.

Tabla 3.- Clasificación de residuos con potencial reciclable

Clasificación	%
Residuos biodegradables susceptibles de ser aprovechados	46.95
Residuos inorgánicos con potencial de reciclaje	25.89
Residuos inorgánicos de aprovechamiento limitado	26.94
Residuos de manejo especial y voluminoso	0.21
Residuos peligrosos provenientes de fuentes distintas a los establecimientos comerciales, industriales o de servicios	0.00

Fuente: (Adaptado de NADF-024-AMB-2013)

Si se considera el volumen reciclado de cada tipo de RSU con respecto a su volumen producido, los sólidos que más se reciclaron en 2012 fueron los metales (39%), el vidrio (23.5%) y el papel (14.7%). De los plásticos y textiles desechados sólo se recicla alrededor del 0.5% de cada uno de ellos (SEMARNAT, 2020).

De acuerdo con cifras actuales a nivel nacional, se estiman 38,351 t/día de residuos aprovechables mediante el reciclaje o la recuperación de energía; 56,427 t/día de residuos orgánicos que pueden ser tratados mediante compostaje o biodigestión; y 26,779 t/día de otros residuos, es posible que no sean aprovechables. Se puede observar que aún son grandes cantidades de residuos que paran en rellenos sanitarios en el mejor de los casos (SEMARNAT, 2020).

La disposición final de los residuos tiene que ver con su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones que permitan evitar su diseminación con ello las posibles afectaciones a los ecosistemas y a la salud de la población. En 2012, a nivel nacional la disposición final en rellenos sanitarios y sitios controlados alcanzó poco más del 74% del volumen de RSU generado, lo que representa un incremento de alrededor del 83% con respecto al año 1997, en el cual se disponía cerca del 41% de los residuos. Mientras tanto, de los residuos generados, el 21% se depositó en sitios no controlados y el 5% restante fue reciclado (SEMARNAT, 2015).

Las cifras en México del reciclaje aún son muy bajas y es necesario encontrar nuevas alternativas para lograr una tasa más alta y eficiente de recuperación para darle otro uso a los residuos, evitando las materias primas en la producción de productos.

## 2.2 Residuos de manejo especial (RME)

### 2.2.1 Residuos en Europa clasificación

La lista europea de residuos (LER) este código proviene de una relación armonizada de residuos que pretende facilitar la caracterización de éstos a partir de su origen y naturaleza, sin necesidad de recurrir a análisis más complicados. Esta lista asigna a cada residuo un código de seis cifras, de cuatro y dos cifras para los capítulos y subcapítulos donde definen los tipos de actividades que generan residuos, para los residuos de la construcción se encuentran en el capítulo 17.

*17 Residuos de la construcción y demolición (incluida la tierra excavada de zonas contaminadas)*

*17 01 Hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos*

*17 01 01 Hormigón*

*17 01 02 Ladrillos*

*17 01 03 Tejas y materiales cerámicos*

### 2.2.2 Residuos de manejo especial en México

Los residuos de manejo especial son los que se generan en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos y tampoco para clasificarse como residuos sólidos urbanos. En el artículo 19 de la LGPGIR se establecen las siguientes categorías de residuos de manejo especial (LGPGIR, DOF 2018).

- I.-Residuos de las rocas o los productos de su descomposición.
- II. Residuos de servicios de salud con excepción de los biológicos infecciosos.
- III. Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de insumos.
- IV. Residuos de los servicios de transporte, así como residuos de actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias, portuarias y en aduanas.
- V. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.
- VI. Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en gran volumen.
- VII. Residuos de la construcción, mantenimiento y demolición en general (RCD).
- VIII. Residuos tecnológicos provenientes de industria.
- IX. Pilas con litio, níquel, mercurio, cadmio, manganeso, plomo, zinc o cualquier otro elemento que permita generar energía, en niveles que no se consideren residuos peligrosos.
- X. Otros que determine SEMARNAT en acuerdo con las entidades para facilitar su gestión integral.

La LGPGIR establece en el artículo 7 fracción V que son facultades de la federación expedir las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que establezcan los criterios para determinar qué residuos estarán sujetos a planes de manejo, que incluyan los listados de éstos, y que especifiquen los procedimientos a seguir en

el establecimiento de dichos planes. La SEMARNAT publicó la NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de estos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. El artículo 19 de la LGPGIR establece diez categorías definidas de RME y la NOM-161-SEMARNAT-2011, en su anexo normativo presenta un listado de los RME sujetos a plan de manejo.

La regulación en materia de residuos de manejo especial ha mostrado pocos cambios y solo en las entidades federativas de Estado de México, Ciudad de México y Jalisco han realizado modificaciones en su regulación estatal para modificar algún aspecto relacionado con estos residuos.

Para la generación de residuos de la construcción y demolición en el diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos del 2020 se presentan los datos proporcionados por la compañía Concretos Reciclados, que es la única empresa autorizada para la recepción y reciclaje de estos residuos en la Ciudad de México en donde reporta un volumen de agregados reciclados que son reintegrados a la construcción de nuevas obras inferior al 13% de los residuos recibidos y que equivalen a 255,901 toneladas, indicando que existe más almacenamiento que salida de material aprovechable como se observa en la figura 4.

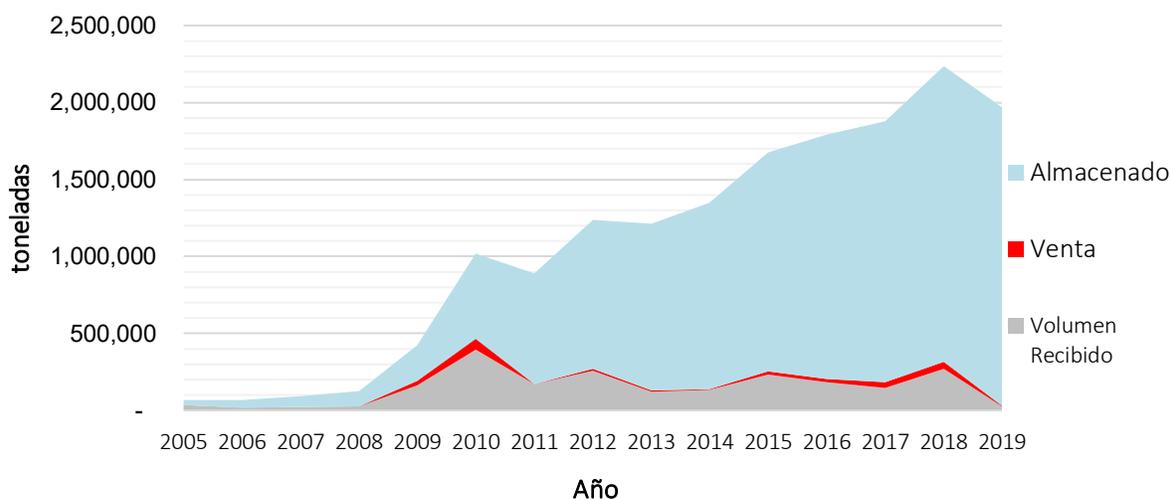


Figura 4.- Comportamiento de los RCD de 2005-2019 en Concretos Reciclados  
Fuente: SEMARNAT, 2020

### 2.2.3 Llantas

Los neumáticos son piezas fabricadas con un compuesto basado en el caucho, que se coloca en la rueda de un vehículo, México es el octavo fabricante y el cuarto exportador de automóviles a nivel mundial; año con año va escalando lugares en este sector. Las cifras de la industria llantera se mueven de forma paralela a las de venta de vehículos, de acuerdo con cifras de la asociación, las fábricas establecidas en el país tienen la capacidad de abastecer 86% de la demanda del mercado automotriz. Además, cuatro de

los cinco principales fabricantes de neumáticos cuentan con una planta en el país. De acuerdo con el presidente de la Asociación Nacional de Distribuidores de Llantas y Plantas Renovadas en los últimos cinco años, la producción total de llantas en México ha crecido casi 82%, al pasar de 13 millones 847 mil unidades en 2009 a 25 millones 116 mil en 2013 (Testa Marketing, 2017).

Los Censos económicos 2014, arrojaron que por la aportación que tiene la producción bruta de la industria hulera a la manufacturera del país, le corresponde el lugar 29 de un total de 86 ramas de actividad y por el personal ocupado que genera, el lugar 32. En la figura 5 se puede observar la producción de llantas para automóvil y su crecimiento del 2007 al 2015.

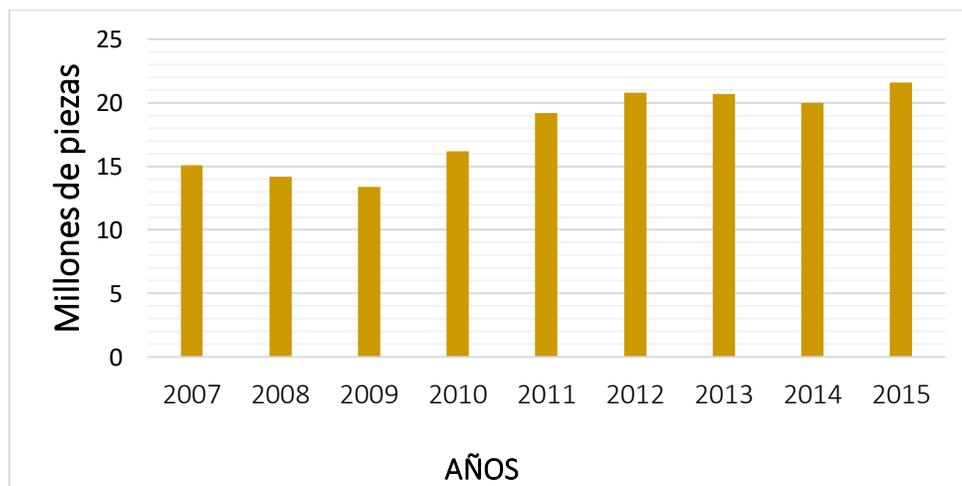


Figura 5.- Producción de llantas para automóvil y camioneta  
Fuente: (Adaptado de INEGI, 2015)

De esta manera los residuos de los neumáticos se eleva año con año debido al crecimiento de la industria. La generación de residuos neumáticos en México no ha sido bien cuantificada, sin embargo, gracias a distintos planes de manejo se puede estimar que cada se desechan mas o menos en el orden de 32 millones de llantas usadas.

Respecto a la cantidad de residuos de llantas que se generan anualmente, la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) menciona que como regla aceptada, la generación de llantas de desecho en países industrializados es del orde de una llanta de automóvil por habitante al año o su equivalente en peso (9 kg). La generación estimada de residuos de llantas para 2010 fue de 1,011,033 toneladas (INECC, 2012).

La problemática del mal manejo de los neumáticos usados, se encuentra en la cantidad de tiempo que tardan en desintegrarse, el gran volumen que suponen, y con ellos los problemas derivados de su almacenaje o disposición donde se puede encontrar fauna nociva, con la acumulación de agua podria reporducirse mosquitos en zonas con clima idóneo con repercusiones para la salud entre varios problemas ambientales.

Datos recientes del DBGIR considera que las actividades que comercializan este producto en el mercado mexicano son la producción y las importaciones, en la frontera norte del país. Todas las llantas importadas se convierten al final de su vida en residuos. Es importante destacar que las llantas importadas no siempre son nuevas. En muchos casos, en la parte norte del país, se introducen llantas usadas que en el país de origen se les desecharía, por no cumplir las especificaciones de seguridad vial, pero que en México sí se pueden utilizar porque no existe una regulación similar que limite su uso. En contraparte, un porcentaje de las llantas producidas en México se exporta a diversos países, por lo cual solo las llantas que se quedan en el país se convierten en residuos. Una manera, un tanto indirecta de exportación, consiste en: una buena cantidad de neumáticos nuevos mediante la exportación de vehículos fabricados en México, ya incorpora en todos los vehículos al menos cinco llantas nuevas en la tabla 4 se observan las cifras de producción y el estimado de residuos.

El reciclaje de estos residuos recolectados se realiza mediante procesos tales como co-procesamiento en hornos cementeros, pirólisis, y mecánicos de diferentes niveles de trituración. A los subproductos generados a partir del tratamiento mecánico se les destina a la fabricación de impermeabilizantes, artesanías, polvo de hule para usos diversos: en canchas deportivas, tapetes, loderas de camión, equipo urbano, pisos, decorativos para jardinerías o parques públicos. En conjunto, considerando lo expresado anteriormente, se estima que 70% de los neumáticos comercializables se convierte en residuos, incluidos los de exportación. De este valor, se estima que al final de su vida útil se recupera 52% de las llantas usadas. En la tabla 4 se observan las estimaciones de los residuos no recuperados.

Tabla 4.- Producción de llantas en México en el periodo 2012-2018

Año	Producción de neumáticos	% convertido en residuos: 70	Residuos recuperados: 52 %	Residuos no recuperados: 48 %
2012	27,155	19,009	9,884	9,124
2013	26,777	18,744	9,747	8,997
2014	26,914	18,840	9,797	9,043
2015	29,316	20,521	10,671	9,850
2016	31,476	22,033	11,457	10,576
2017	33,452	23,416	12,177	11,240
2018	32,312	22,618	11,762	10,857

Fuente: SEMARNAT, 2020

#### 2.2.4 Residuos de la construcción y la demolición

La industria de la construcción juega un papel importante en el desarrollo de un país, tanto en su cultura como en el ámbito económico, ya que, a través de la construcción, se satisfacen las necesidades de infraestructura de la mayoría de las actividades económicas y sociales de una nación. De acuerdo con las últimas cifras la industria creció 1.8% durante el 2016, de acuerdo con el INEGI; para el 2017 los datos anuales mostraron una disminución de -4.1% en las empresas constructoras. Las estimaciones para el 2018 apuntan a un crecimiento moderado de 1.1% y, de acuerdo con la Cámara Mexicana de la Industria

de la Construcción, se espera que el sector tenga un crecimiento de 2.0% en los próximos tres años. Con base en la Federación Internacional de la Industria de la Construcción, el segmento de la construcción aportó 6.5% del PIB mundial (Andrade, 2018).

De acuerdo con estimaciones de la Norma Ambiental para la Ciudad de Mexico NADF-007-RNAT-2013, en la capital mexicana se generan al día 7,000 toneladas de residuos de la construcción y demolición (RCD), de los cuales se estima que al día de hoy menos de 1,000 t/día son enviadas a reciclaje. Sin embargo, existen estudios recientes que estiman una generación mayor, para el 2017; se reportó un total de 2,435,709 m<sup>3</sup>/año de residuos de la construcción, 85.66% corresponde a residuos de excavación, que pueden emplearse en obras de construcción o llevarse a un sitio para su correcta disposición final; mientras que 14.34% son residuos de la construcción potencial de ser reciclados para la obtención de agregados y material de relleno de acuerdo al Inventario de Residuos Sólidos 2017.

En el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos del 2020 se reporta que 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. En la tabla 5 se observan las cifras más recientes de la estimación sobre la generación de RCD en el 2018 que incluye obra pública y privada.

Tabla 5.- Estimación de la generación de RCD en el 2018 para México

Tipo de Obra	Generación en (ton)	Porcentaje 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%
<b>Total</b>	<b>10,153,322.63</b>	<b>100%</b>

Fuente: SEMARNAT, 2020

La mayor parte de los RCD generados en las obras pequeñas son retirados por vehículos de carga privados, poco más del 5%, son trasladados por los vehículos recolectores de residuos sólidos urbanos

(RSU), y se estima que cerca del 10% de los residuos se disponen en suelo de conservación, barrancas o la vía pública como se observa en la figura 6.



Figura 6.- Residuos dispuestos en la Barranca Mixcoac  
Fuente: PAOT, 2008

Para el caso de las obras público y privadas se estima que el 67% de sus residuos son transportados por vehículos de carga privados, sin embargo, tan sólo el 20% se dispone en sitios autorizados y un 3% se recicla, disponiendo el resto para re nivelación de terrenos, rellenos sanitarios y de manera inapropiada en suelos de conservación o vía pública (CMIC, 2014), en la figura 7 se observan residuos de la construcción dispuestos en la acera de la Alcaldía Iztacalco, siendo común estas practias en el territorio mexicano.



Figura 7.- Residuos de construcción “cascajo” en la vía pública  
Foto: Alcaldía Iztacalco

Los residuos de la construcción por su mal manejo desde la generación hasta su disposición traen consigo graves problemas ambientales, de imagen urbana, y hasta de salud. La disposición sin separación ni

tratamiento en los sitios clandestinos, de una mezcla de material de excavación, restos de ladrillo, azulejos, mortero, concreto, yeso, madera, plásticos, solventes, restos de pintura, metales y otros materiales utilizados en los procesos constructivos de obras, generan un impacto ambiental relevante. El manejo de desechos en las compañías constructoras no ha cambiado en muchos años; los residuos siguen siendo recogidos en el lugar en el que han sido generados y de ahí son transportados, en el mejor de los casos, a algún sitio autorizado de tiro o relleno sanitario.

## 2.2.5 Composición de los RCD

De acuerdo con distintos estudios realizados por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los residuos de construcción y demolición representan el 17.5% de los residuos de manejo especial. Uno de los principales problemas, aunque no el único que presentan estos residuos, es la disposición final incorrecta y la falta de aprovechamiento en obras nuevas, remodelaciones o alguna alternativa. En la tabla 6 se observan las cantidades de materiales aproximados empleados en la construcción.

Tabla 6.- Cantidades de materiales de construcción empleadas usualmente

PRODUCTO	Generación promedio anual (miles de toneladas)	Porcentaje (%)
Materiales para trabajo en suelos	2,637.55	43.16
Concreto	1,489.88	24.38
Block	1,425.72	23.33
Tabla roca yeso	247.50	4.05
Madera	92.89	1.52
Cerámica	51.94	0.85
Plástico	44.00	0.72
Piedra	37.89	0.62
Papel	29.94	0.49
Varilla	29.33	0.48
Asfalto	15.28	0.25
Lámina	5.50	0.09
Otros	3.67	0.06

Fuente: CMIC, 2014

En las actividades informales de construcción o de autoconstrucción, el manejo depende de la cantidad producida de residuos, en la tabla 7 se puede observar los residuos generados en la industria de la construcción, si la cantidad de residuos amerita se contrata un camión de carga, el cual los lleva a un

sitio de tiro, ya sea autorizado o clandestino. Si se producen pequeñas cantidades, el generador las traslada a algún lote baldío, terreno vacante cercano u otro lugar similar (SICA, 2011).

La problemática que causan los RCD tanto en México como en otras partes del mundo, se debe a la falta de aprovechamiento y a la mala disposición de estos residuos, siendo arrojados en tiraderos a cielo abierto, lagos, cauces y zonas sin las medidas mínimas requeridas.

Las partículas que emite la generación de residuos de la construcción y demolición contaminan el aire por la predominancia de diferentes elementos contaminantes a consecuencia del mismo proceso constructivo, tal como son la generación de partículas suspendidas, ruido y compuestos orgánicos volátiles (COV's), principalmente (INECC,2012).

Tabla 7.- Residuos generados en las obras de ingeniería civil

		RESIDUOS GENERADOS EN LAS OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL																															
		Residuos aprovechados para el reciclaje												Residuos de excavación				Residuos sólidos															
		Adocreos	Concreto limpio	Concretos armados	Concretos Asfálticos	Materiales cerámicos	Fresado Asfáltico	Mampostería	Tepetatosos	Tabiques	Ladrillos	Teja	Blocks	Mortero	Polvos	Suelo Orgánico	Suelos no contaminados y materiales arcillosos	Otros materiales minerales no contaminantes	Rocas	Cartón	Madera	Metales	Metales y no férreos	Papel	Plástico	Residuos de poda, hojarasca y tala	Tablaroca	Yeso	Vidrio	Producción Bituminosos	Cal	Otros	
Obras de Edificación	Urbanas	Viviendas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Industriales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Institucionales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Servicios de Municipales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Centros recreativos y de espectáculos	X																															
Rurales	Monumentos y obras de ornato	X	X	X	X				X					X	X	X	X	X			X			X	X	X							
	Agrícolas		X	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
	Pecuarías		X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		Y	X	X			Y	Y	X	X	X
	Industriales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Obras para manejo de agua	Sistema de Abastecimiento de agua potable		X	X					X	X				X	X	X	X	X	X	X				X	X	X							
	Sistemas de Alcantarillado		X	X					X	X				X	X	X	X	X	X	X	X				X	X	X						
	Sistemas de irrigación		X						X	X				X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	X	X						
	Obras de generación de energía eléctrica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Obras de Protección Fluvial		X	X	X									X	X	X	X	X			X				X		X				X		
	Obras de protección Marítima		X	X																X		X			X	X						X	
	Obras de recreación	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Obras para sistemas de transportes	Carreteras			X	X		X		X						X	X	X	X	X	X				X	X	X					X	X	X
	Ferrocarriles			X											X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X						
	Aeropuertos		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Transmisión de energía			X		X		X	X						X	X	X	X	X	X			X		X	X	X						
	Obras de acondicionamiento para la navegación fluvial		X										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X								X
	Obras de acondicionamiento para la navegación marítima		X	X	X			X		X			X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						

Fuente: SIC, 2011

## 2.2.6 La disposición y aprovechamientos de los RCD

Uno de los problemas que enfrentan las constructoras en cuanto a la disposición son los costos que estos generan, el volumen de dichos residuos comparados con los espacios destinados en obra, además de la separación primaria baja y en la mayoría de los casos, nula, lo cual dificulta un aprovechamiento real de los residuos, ya que, si no se encuentran separados desde el sitio de generación, suele ser más difícil su selección para su aprovechamiento o disposición.

En México a partir de agosto de 2013 los constructores están obligados a cumplir con la formulación de un plan de manejo de residuos de construcción y demolición conforme a la NOM-161-SEMARNAT-2011, la cual establece que los residuos de la construcción se clasifican como residuos de manejo especial, lo que obliga a realizar acciones para su reutilización y reciclaje o, en su caso, la correcta disposición.

Algunas entidades federativas han implementado para el manejo de RCD, padrones de prestadores de servicios, que incluyen la recolección y el transporte de dichos residuos y en algunos casos centros de acopio, transferencia e incluso sitios de disposición final.

Para el caso de las obras público y privadas se estima que el 67% de sus residuos son transportados por vehículos de carga privados, sin embargo, tan sólo el 20% se dispone en sitios autorizados y un 3% se recicla, disponiendo el resto para nivelación de terrenos, rellenos sanitarios y de manera inapropiada en suelos de conservación o vía pública (CMIC, 2014).

Pese a lo anterior la gestión en materia de residuos de la construcción aún cuenta con serias deficiencias, ya que es muy bajo el número de entidades que cuentan con una disposición correcta y sobre todo un aprovechamiento de dichos residuos.

En Xochimilco se encuentra otro sitio que es una estación de transferencia, sólo reciben los desechos para enviarlos a algunos de los 14 sitios autorizados en el Estado de México debido al convenio entre la Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX y dicha entidad (CMIC, 2014).

Los residuos provenientes de la construcción pueden ser aprovechados en diferentes ramos de la industria para incorporarlos al ciclo y así disminuir la explotación de materias primas. Algunas formas de aprovechamiento y reciclaje de los RCD (producción de diversas curvas granulométricas), es decir se obtienen materiales pétreos mediante su trituración. Los productos materiales pétreos reciclados pueden ser utilizados en:

- Sub-base en caminos.
- Sub-base en estacionamientos.
- Construcción de terraplenes.
- Relleno sanitario (caminos y cubiertas).
- Construcción de andadores o ciclopistas.
- Construcción de bases de guarniciones y banquetas.
- Bases hidráulicas.

Es necesaria la creación de centros de reciclaje de residuos de la construcción, pues con estos no solo se tienen sitios de disposición de residuos para que los constructores tengan a donde enviar los mismos, sino que es posible que se creen nuevos materiales de los cuales pueden ser funcionales para las obras de construcción o algún proceso productivo, reduciendo la explotación de bancos de materias primas vírgenes y creando un beneficio al ambiente con la reducción del impacto que se le genera (Ceñal, 2015). Siendo de vital importancia la separación de los residuos desde la generación para el correcto aprovechamiento de estos.

La empresa Concretos Reciclados es uno de los lugares para el reciclaje de los RCD (es una empresa 100% mexicana dedicada al reciclaje de los residuos de la construcción, fundada en el año 2004) se encuentra en la alcaldía Iztapalapa; en donde se procesa apenas el 3% de esos residuos generados en la Ciudad de México, aunque la planta tiene capacidad de operación de 2,000 toneladas por día, es decir para el 30% aproximadamente de la generación total de la CDMX.

## **2.3 Reciclaje en México**

### **2.3.1 Cifras**

En cuanto al nivel real de reciclaje en México, las cifras son poco alentadoras. La gran cantidad de residuos que se generan aún no se refleja de manera significativa en la reutilización de estos. Aunque desde 1992 las toneladas de residuos reciclados han aumentado a un promedio anual de 7.3%. En 2012 se reciclaron cuatro veces más toneladas de residuos, la realidad es que el porcentaje de residuos reciclados es todavía ínfimo. Los datos de la figura 8 muestran la tendencia creciente, pues los residuos reciclados pasaron de representar poco más de 0.5% en 1991 a 5% en 2012. No obstante, esta cifra está muy por debajo de los estándares internacionales. Basta con analizar la misma variable de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) para darse cuenta de que, en primera instancia, México es el país con menor porcentaje de reciclaje de residuos. Además, el promedio de reciclaje de residuos de los miembros de la OCDE fue de 24.3% en 2012, veinte puntos porcentuales más que el caso mexicano (Góngora, 2014).

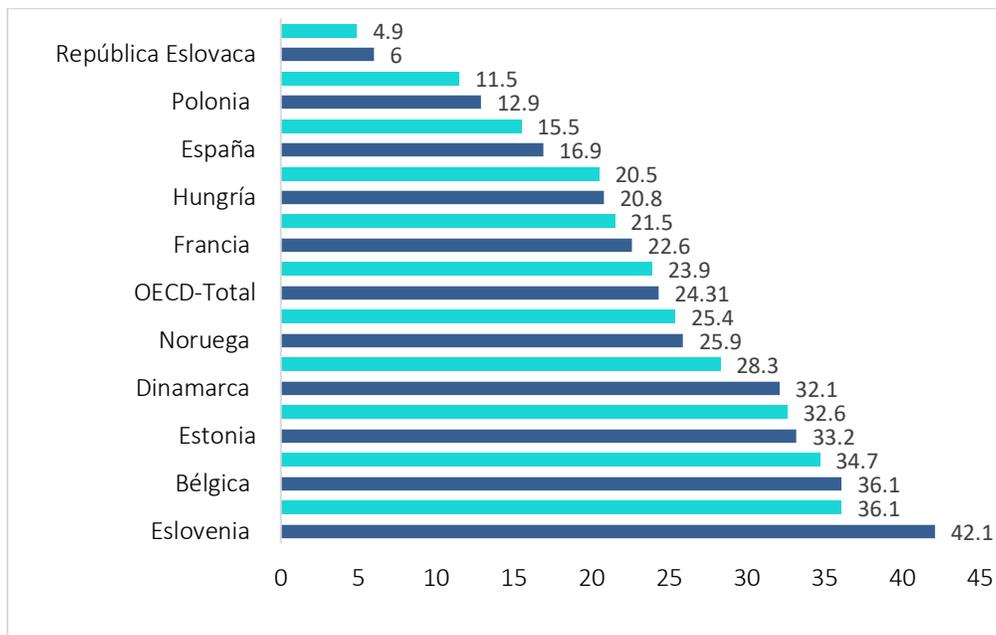


Figura 8.- Residuos reciclados en países de la OCDE, 2012  
Fuente: (Adaptado de Góngora 2014)

## 2.4 Tabicones en México

### 2.4.1 Generalidades

Los bloques de cemento, tabiques y tabicones son elementos ortogonales sólidos o huecos, fabricados de mortero de cemento Portland o de concreto hidráulicos con distintos tipos de agregados, se usan en la construcción de muros interiores y exteriores, de carga o de relleno y en registros, entre otros, su principal uso es en la construcción de viviendas. De acuerdo con la NMX-C-404-ONNCCE-2013 un tabicón es un componente macizo para uso estructural de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales.

El tabicón sólido de concreto es un producto elaborado con la mezcla de agregados finos y agregados gruesos, cemento y en algunos casos aditivos. Básicamente el proceso consiste en la interacción de cuatro etapas: el almacenaje de materiales, el mezclado, el compactado y el secado.

Estos elementos se convirtieron en parte indispensables para la edificación de viviendas desde la antigüedad. Desde hace varias décadas se han repetido intentos por introducir soluciones industrializadas y más tecnificadas en la construcción de viviendas, con el fin de dar solución a la demanda (Castro, 2009).

Existen comercialmente dos tipos de tabicón sólido pesado y ligero cuya diferencia es el peso y los materiales utilizados para su fabricación, es decir el peso de un tabicón ligero es aproximadamente del 30% menor que del tabicón pesado. Las características que del tabicón se definen por su densidad  $\rho =$

m/V (que es una magnitud referida a la cantidad de masa contenido en un determinado volumen, y puede utilizarse en términos absolutos o relativos) que depende fundamentalmente del peso de los agregados, de la compactación y la dosificación de la mezcla (Pérez, 2016).

En el proceso de la fabricación de los tabicones sólidos de concreto se deben de tomar en cuenta diferentes variables como son los materiales o materia prima que lo conformara de esta manera la dosificación, la procedencia de los agregados, el moldeo, la compactación, el curado o secado y el almacenamiento son pasos importantes y variables a tomar en cuenta para poder obtener especímenes que cumplan con la resistencia, la absorción y las dimensiones específicas entre otros parámetros al momento de evaluar la calidad de este (Pérez, 2016).

### **2.4.2 Dosificación**

Es el proceso de medir los materiales necesarios para la producción de la mezcla para la fabricación de tabicón. Generalmente los materiales utilizados en la elaboración de las piezas son el cemento gris, agua, jal y arena (algunos fabricantes incluyen aditivos para acelerar el fraguado de la mezcla, con el fin de agilizar el manejo de las piezas). La proporción en la que estos ingredientes son incorporados a la mezcla es variable entre lotes y entre fabricantes (Carmona, 1992), depende fundamentalmente de la apreciación y experiencia de los operarios, dando como resultado una gran variación entre las propiedades del producto final. La calidad de los tabicones es una característica que influye significativamente en la resistencia del muro del que forman parte. De acuerdo con investigaciones previas, se puede suponer que su variación depende de diversos factores entre los que destacan: la relación entre el agua y el cemento, la granulometría de los agregados, la relación volumétrica entre cementantes y agregados, el grado de compactación y las condiciones de curado (Vargas, 2005).

Debido a las distintas dosificaciones existentes a partir de los materiales base y de acuerdo con un estudio realizado a los tabicones fabricados en las plantas ubicadas en la Zona Metropolitana de Guadalajara (García 2020) se ha establecido la amplia variabilidad de sus propiedades mecánicas, tanto entre los lotes de una misma fábrica, como entre la producción de las diferentes empresas. Los resultados del estudio realizado indica que algunas empresas producen tabicón de calidad regular y otras ofrecen producto de mala calidad (Pérez, 2016)

### **2.4.3 Clasificación**

Los tabicones sólidos de concreto se pueden clasificar por su grado de calidad, (A-B-C), de acuerdo con su grado de calidad y los requerimientos por satisfacer, en la tabla 8 se indican los usos recomendables y en la tabla 9 se indican los usos recomendables de los bloques (N-CMT-2-01, 2002).

Tabla 8.- Clasificación de los bloques

TIPOS	SUBTIPOS	GRADOS DE CALIDAD
Bloques de cemento	Sólidos	A-B-C
	Huecos	A-B
Tabiques y tabicones	Sólidos	A-B-C
	Huecos	A-B

Fuente: (Adaptado de N-CMT-2-01-002-02, 2002)

Tabla 9.- Usos recomendables para bloques de cemento, tabicones y tabiques

Grado de calidad	Usos
A	Aptos para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno. Su baja absorción permite su uso sin recubrimiento
B	Aptos para muros interiores y exteriores, de carga o de relleno. En muros exteriores deben protegerse de la intemperie mediante recubrimiento o sellador impermeable.
C	Aptos para muros interiores de relleno. Por su alto porcentaje de absorción no es recomendable su uso en exteriores y en caso de hacerlo, deben protegerse perfectamente de la intemperie por medio de un recubrimiento o sellador impermeable.

Fuente: (Adaptado de N-CMT-2-01-002-02, 2002)

#### 2.4.4 Dimensiones

Las dimensiones de los bloques de cemento, tabique y tabicones cumplirán con las indicadas en la tabla 10.

Tabla 10.- Dimensiones de los bloques de cemento, tabiques y tabicones

TIPO	DIMENSIONES (cm)		
	Largo	Ancho	Altura
Bloques de cemento	>30	10 a 30	10 a 30
Tabiques y tabicones	24 a 30	10 a 30	6 a 15

Fuente: (Adaptado de N-CMT-2-01-002-02, 2002)

#### 2.4.5 Cifras de los bloques y tabicones de cemento

La gran mayoría de las construcciones es a base de muros de mampostería y losas de concreto. Cifras del INEGI indican que, en México, en 1990, el 69.5% de las viviendas se constituían a base de muros, cifra que aumentó al 75.6% para 1995, al 78.9% en el 2000 y al 79.5% al 2004 estas cifras incluyen muros de mampostería de ladrillo de barro, tabicón de cemento, concreto y piedra.

Por otra parte, en la industria de la construcción se utilizan materiales alternos en respuesta a las tendencias que ocurren en la oferta y selección de materiales, a fin de lograr un diseño de políticas públicas que aumenten las posibilidades de éxito de una intervención cuyo objetivo sea modernizar la actividad y lograr la disminución de su efecto contaminante (INECC, 2016).

En opinión del 78% de productores de ladrillos artesanales, los bloques de concreto son el principal producto sustituto del ladrillo, en tanto que para el 22% son los tabicones y ninguno de ellos identifica al Bloque de Tierra Compactada (BTC) o al tabique extruido como competidores (INECC, 2016).

De acuerdo con los datos de la Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM) publicada por INEGI, el valor de la producción de tubos y bloques de concreto mostró un aumento en el primer cuatrimestre del año 2015 (Figura 6), aunque se debe aclarar que las cifras no desagregan el valor de bloques de concreto por lo que se asume que el incremento de producción ocurrió tanto en éstos como en tubos, en cuanto a la producción de ladrillo artesanal no ha tenido un incremento considerable en los últimos ocho años.

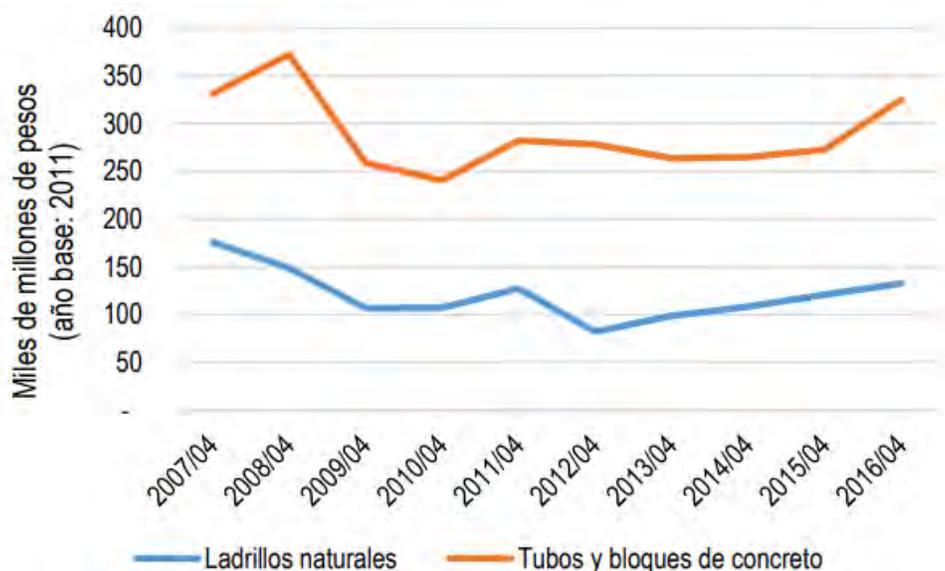


Figura 9.- Valor de la producción en mayo, periodo 2007-2016

Fuente: INECC, 2016

Quienes producen bloque de concreto, de manera cotidiana lo comercializan sin intermediario, incluso empresas que iniciaron la comercialización ampliaron su actividad al incursionar en la producción de bloque de concreto, con una baja inversión de capital, sin necesidad de trabajadores especializados y sin la suficiente demanda de superficie, los comercializadores pueden dedicarse también a la fabricación de tabicones y bloques. En este sentido, es complicado que un comercializador adquiera la especialidad suficiente para instalar un horno y dominar el proceso de elaboración de ladrillo cocido (INECC, 2016).

La combinación de actividades de fabricación y comercialización de tabicones y bloques de concreto en el mismo sitio permite el aprovechamiento del transporte de carga para abarcar mayores áreas de

distribución del producto. De esta manera, resulta común que el alcance de esos productos sea estatal en mayor proporción, o inclusive nacional como se muestra en la figura 10.

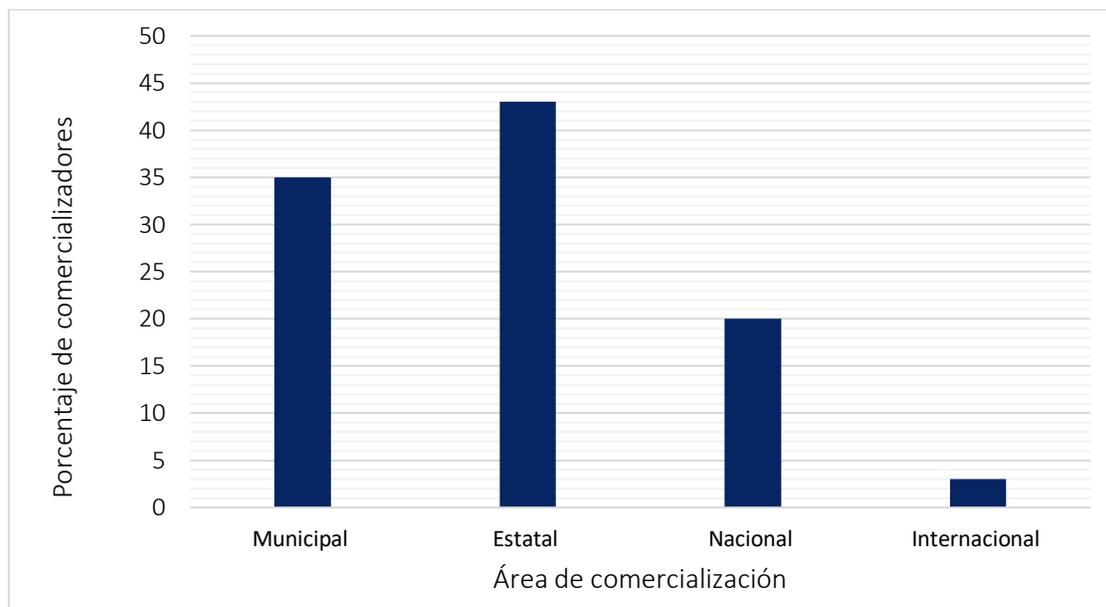


Figura 10.- Área de distribución de comercialización de tabicón y bloque de concreto  
Fuente: INECC, 2016

Una de las características importantes de la fabricación de productos de concreto es que estos no requieren cocción. El 84% de los productores no consumen combustibles o energía eléctrica, y el 8% sólo usan esta última. Es una de las principales diferencias con los productores artesanales quienes dependen en un 100% del uso de energía en forma de combustibles. La comercialización de bloques y tabicones de concreto la realizan en parte los comercializadores de materiales de construcción (60%). Otra característica relevante es la estandarización de dimensiones, en contraste con la situación que prevalece en la producción de ladrillo artesanal. A nivel del país se pueden adquirir bloques y tabicones de la misma dimensión (INECC, 2016).

Los problemas que encuentran el 51% de los productores de bloques y tabicones de concreto son el abastecimiento de materias primas, el mantenimiento de la maquinaria empleada en su producción, la calidad de los insumos y los costos de estos; cabe destacar que un 25% no refiere tener problemas en la producción como se observa en la figura 11. Otros problemas que son menos frecuentes en la producción de bloques de concreto son de tipo laboral, por permisos requeridos para la actividad y logística entre otros (INECC 2016).

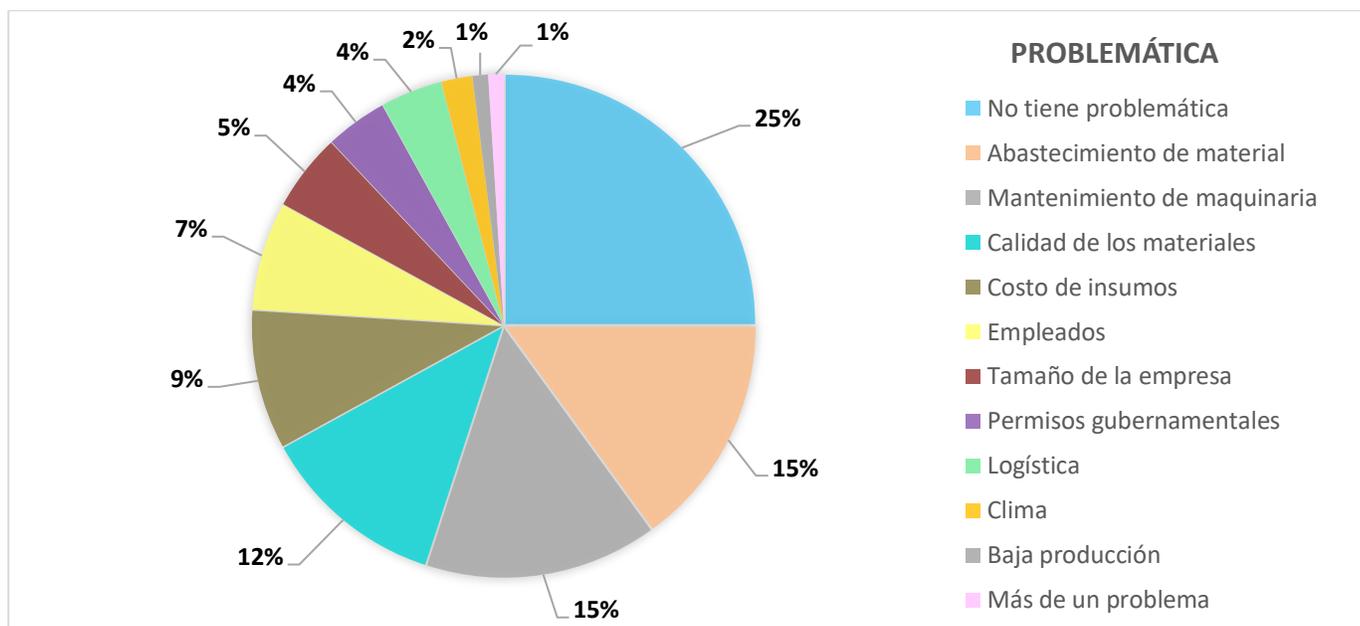


Figura 11.- Problemática de la cadena de valor de bloques y tabicones de concreto  
Fuente: INECC, 2016

#### 2.4.6 Demanda de productos en la construcción

La preferencia de los constructores por el consumo de bloque y el tabicón de concreto como primera opción de materiales para construir muros, representa alrededor del 65% de los mismos, en comparación con el 26% que prefiere al ladrillo como primera opción. Menos del 5% de los constructores prefiere al tabique extruido como primera opción y menos del 1% el bloque de tierra compactada como se observa en la figura 12.

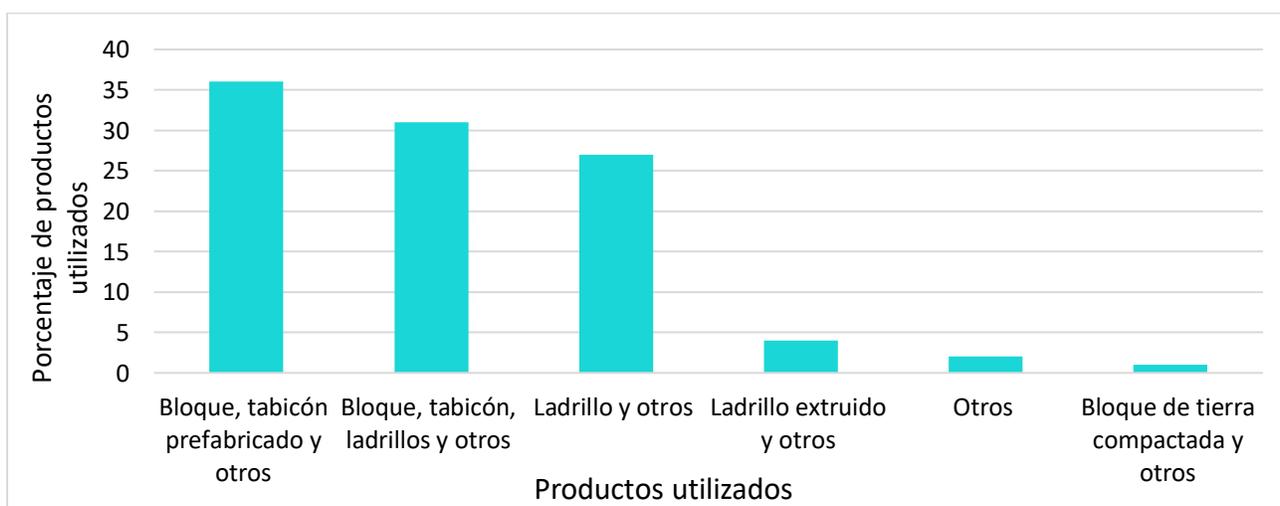


Figura 12.- Productos más utilizados para la construcción de muros  
Fuente: INECC, 2016

El 40% de los constructores elige la lista de bienes y servicios de consumo con base en las propiedades físicas del material, primero por la calidad y resistencia, el 20% de los consumidores tienden a elegir los productos dado el precio al cual sea ofertado; dicho patrón de selección del bien demuestra que el productor tiende a incrementar la restricción presupuestaria si decide el consumo en función de las características físicas o bien ajusta su restricción presupuestaria si la elección de compra está sujeta al precio del bien.

Los principales competidores del ladrillo son el tabicón, el bloque y el tabique extruido, dichos productos sustitutos son característicos en los métodos constructivos de vivienda masiva, construcciones industriales y edificios. Otros nuevos materiales como los tabiques de tierra compactada o de materiales residuales, se hallan en una etapa media de su desarrollo tecnológico sin que hayan incursionado en el mercado. Las innovaciones en materiales de construcción ocurren en edificaciones grandes o en construcción masiva de vivienda, nichos en los que el ladrillo no compite favorablemente (INECC, 2016).

## 2.5 La construcción sustentable

En México la operación de edificios comerciales y habitacionales representa alrededor del 40% del consumo básico de energía, generan entre el 20 y el 25% de los residuos que se destinan a los rellenos sanitarios y son responsables de entre el 5 y el 12% del consumo de agua (CCA, 2008).

Este tipo de construcción, también se conoce como arquitectura sostenible en la cual se toma en cuenta desde el proceso constructivo, los materiales utilizados para la construcción, el impacto del edificio en la naturaleza, el paisaje, la ubicación entre otros rubros, de esta manera rubros como la eficiencia energética, a través de diversos métodos.

El término edificio sustentable se refiere a la utilización de materiales y prácticas respetuosos con el ambiente en la planeación, el diseño, la ubicación, construcción, operación y demolición de un edificio. Se aplica tanto a la renovación y el reacondicionamiento de edificios preexistentes como a la construcción de nuevos edificios.

Mejores prácticas de diseño y edificación pueden contribuir a enfrentar retos ambientales como el agotamiento de los recursos naturales, la eliminación de residuos, así como la contaminación de aire, agua y suelo, además de ayudar a obtener beneficios de salud humana y prosperidad (Morillon, 2011).

Los parámetros para tomar en cuenta para poder desarrollar edificios sustentables son:

- 1.- Selección del sitio
- 2.- Movilidad sustentable
- 3.- Áreas verdes
- 4.- Materiales

5.- Uso eficiente de la energía

6.- Uso eficiente del agua

7.- Residuos

Los edificios y el entorno de la edificación conllevan asociado igualmente un enorme consumo de recursos, agua y otras materias primas. Así, como toneladas de residuos de construcción y demolición. El consumo de áridos en este sector es de 16.300.000 toneladas. A este respecto, se pone de manifiesto que los residuos de construcción y demolición aumentan de año en año, tanto en volumen como en complejidad, hecho este último que limita la posibilidad de reutilización y reciclado de los mismos (en el momento actual sólo alrededor del 28%), aumentando la necesidad de ocupación del suelo (en los vertederos) y la extracción de minerales.

En México las edificaciones son responsables de:

- 17% del consumo total de energía
- 5% del consumo total de agua
- 25% del consumo total de electricidad
- 20% de las emisiones de dióxido de carbono
- 20% de los desechos generados

La escasez de recursos naturales por su mal uso y la destrucción de los ecosistemas es una problemática mundial de tal gravedad, que requirió de mayor atención de los gobiernos internacionales. Es en 1982 que se establece por primera vez el término "desarrollo sostenible" presentado por el ex primer ministro noruego, Gro Brundtland, dentro de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, creada por las Naciones Unidas. Dicho documento define el "Desarrollo sostenible" como, "aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones". A partir de esa fecha, se han organizado Cumbres, Reuniones y Comisiones especiales en búsqueda de fomentar el desarrollo sostenible o sustentable en las grandes ciudades. México ha participado en cada una de ellas y es por ello por lo que a través de diferentes instituciones se han establecido Normas y Programas Nacionales que buscan revertir el cambio climático y promover la sostenibilidad. La vivienda en México hasta hace unos años no seguía ningún principio de sostenibilidad, pero el gobierno mexicano ha identificado en ella, una oportunidad para atender el crecimiento de la población y para el desarrollo sustentable en las ciudades (Vallejo, 2014).

### 2.5.1 Residuos

La construcción sustentable considera que los materiales constructivos de los edificios tomando en cuenta su vida útil, desde que se extraen estos materiales para su manipulación, pasando por su

transformación, transporte, instalación, mantenimiento y fin de vida. De esta forma evaluar su coste durante su ciclo de vida y considera su reutilización, rehabilitación y reciclado para evitar que estos lleguen a los vertederos o sitios de disposición final, es por esto que resulta fundamental una elección de los materiales prefiriendo aquellos que provienen de otros procesos o los que no son extraídos de sitios vírgenes (cuando es posible y el diseño lo permite), haciendo un uso responsable de los recursos disponibles, y reduciendo al máximo la cantidad de residuos generados. Sólo de esta manera se puede reducir al máximo el impacto negativo sobre el medioambiente como consecuencia del uso de materiales para la construcción de edificios (Serrano, 2014).

De acuerdo con esto la construcción debe considerar la gestión de los residuos generados ya que su impacto de estos sobre el ambiente persiste a lo largo de los años, porque, aunque los residuos paren en rellenos sanitarios implica la introducción de sustancias tóxicas en el terreno, en el aire y en el agua una vez los residuos llegan al sitio de disposición final, o son eliminados sin control y de manera irresponsable, fuera de ellos. Además, la existencia de rellenos o sitios de disposición final implica no sólo un coste económico de mantenimiento, debido a que deben ser controlados de manera permanente, incluso cuando no sean operativos, además del potencial de riesgo para la salud humana.

La EPA considera en orden de importancia, las siguientes estrategias para reducir el impacto de la generación de residuos:

- 1.-Reducción del uso de recursos.
- 2.-Reutilización de materiales, desviándolos del camino a vertedero.
- 3.-Reciclaje para la reducción del uso de materias primas.

### **2.5.2 Beneficios de la construcción sustentable**

La reducción de desechos La reducción de desechos mediante un mejor diseño de productos, reciclaje y reutilización de materiales tendrá como resultado enormes reducciones en el uso de materias primas, en los impactos ambientales asociados y en el costo para el sector privado y los gobiernos locales de eliminar estos materiales. El cascajo generado por la construcción y la demolición asciende a un total superior a 136 millones de toneladas al año en Estados Unidos lo que representa alrededor de 60 por ciento de la generación de residuos no industriales en ese país. Se calcula que se recupera entre 20 y 30 por ciento del cascajo producto de la construcción y demolición para su procesamiento y reciclaje (Cervantes, 2016).

La edificación, sin embargo, no solo presenta impactos o implicaciones ambientales, también es uno de los espacios donde la gente pasa cerca del 85% de su tiempo, por lo cual estos sitios deben ser confortables, y crear ese confort para los ocupantes, la construcción sustentable es una alternativa para disminuir los impactos que la industria de la construcción ocasiona con cada espacio o edificio nuevo, de esta forma se disminuirán estos impactos negativos a corto y largo plazo.

## 2.6 Antecedentes de alternativas sustentables para la elaboración de ladrillos

A partir de los distintos problemas presentados se han desarrollado distintas alternativas para sustituir las materias primas de algunos materiales que se utilizan en la industria de la construcción, evitando que los residuos lleguen a rellenos sanitarios o sitios de disposición final, de esta forma se disminuye y evita el deterioro, el agotamiento y explotación de los recursos que se utilizan para la fabricación de productos para la industria de la construcción.

Se realizan investigaciones y trabajos importantes en todo el mundo para disminuir que los residuos lleguen a rellenos o sitios de disposición final, y de esta forma evitar el uso de materias primas para la elaboración de los materiales para la construcción de viviendas o la industria de la construcción, sobre esta línea de investigación en el 2002 Roux *et al.*, realizaron un trabajo donde el principal objetivo era el refuerzo de ladrillos de adobe, estabilizados con cemento portland al 6%, con diferentes porcentajes de fibra de coco, donde desarrollaron un plan experimental en laboratorio y construcción *in situ* muestras de muros con diferentes clases de ladrillos, diferentes uniones entre ellos y distintas orientaciones, para analizar el comportamiento de prototipos ante las condiciones climáticas de la zona de Tampico, de este trabajo el mejor porcentaje de fibra de coco para el refuerzo del ladrillo de adobe fue del 1%, lo que encontraron fue que porcentajes mayores disminuyen la resistencia a la compresión esto se debe a que la fibra de coco hace más poroso el material, perjudicando en zonas húmedas como aquellas donde se desarrolló el experimento, una de las ventajas que detectaron al agregar este residuo es que ayuda para que no se produzca ningún hongo que afecte la calidad del mismo, los resultados a los que llegaron para los ladrillos fabricados con prensa hidráulica, son mucho mejores que los obtenidos con los ladrillos fabricados con prensa manual para este estudio.

De acuerdo con distintos trabajos el sustituir diversos residuos para poder incorporarlos como materia prima resulta en beneficios para poder darle otro uso a esos residuos y evitar la extracción de materias primas, en el 2016 Rojas *et al.*, fabricaron ladrillos sostenibles, basados en tres tipos de desechos generados en la industria de la construcción: residuos de corte de madera, residuos del proceso de excavación y agregados reciclados en donde se demostró que los ladrillos ecológicos fabricados con la mezcla de cementación RA solo de 3/8 y 1/4 de pulgada a finos cumple con los requisitos estándar, además del uso del extracto de *O. ficus-indica* como aditivo natural mejoró la trabajabilidad de la mezcla. proporcionando valores de resistencia a la compresión de hasta 8 MPa; y se utilizó un proceso de cocción diferente para dar una alternativa menos agresiva al convencional que fue sustituido por secado solar, la fabricación y uso de ladrillo sustentables tienen ventajas, y económicamente más rentable ya que resultó ser 33% más barato construir 1 m<sup>2</sup> de muro con ladrillo sustentable que con ladrillo rojo comercial se consideran económicamente más factible (Aquino, 2015).

Siguiendo con la elaboración de ladrillos a partir de residuos en 2014 Martínez *et al*, trabajaron en el diseño y fabricación de un ladrillo a base de cemento y escamas de PET (tereftalato de polietileno); para tal fin se estudiaron varias composiciones con diferentes pruebas de resistencia y compresión usando una máquina PCE-MTS500. De acuerdo con esta investigación y sus resultados obtenidos muestran un

producto resistente comparable con los comerciales según la norma NTC 673; la muestra óptima presenta una fuerza de compresión de 5,600 kg/f en comparación con los ladrillos comerciales, que presentan una fuerza máxima de 4480 kgf. Se realizó un análisis con los costos comparativos con los del mercado actual brindando un excelente costo beneficio. Al incorporar las escamas de PET se disminuye su llegada a los rellenos, y ayudo a los ladrillos a elevar su resistencia comparado con los que se encuentran en el mercado.

Investigaciones internacionales, demuestran que la utilización de ladrillos PET se considera apropiada en el sector de la construcción, debido a que no requiere grandes gastos de energía, no causa desechos ni contaminación, siendo aceptable.

De acuerdo con un estudio realizado por Flores en el 2014 se utilizó PET para elaborar morteros para la fabricación de elementos constructivos, en donde en el proceso se trituraron los residuos y se incorporaron a una mezcla de cemento con aditivo químico, donde se buscó mejorar la resistencia, con la mezcla se fabricaron ladrillos y tejas que presentaron menor peso, absorción aceptable y resistencias acordes a las exigidas por normas del país, siendo una opción para los residuos del PET.

Sobre esta línea de investigación en el uso de plásticos Gaggino en 2008, realizó el trabajo denominado “Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción” esta investigación llevada a cabo en el CEVE relativa a la fabricación de elementos constructivos utilizando materiales plásticos reciclados, lograron con esta investigación desarrollar componentes de construcción livianos, de buena aislación térmica, y resistencia mecánica suficiente para cumplir la función de cerramiento lateral de viviendas. En el segundo caso, contribuir a descontaminar el ambiente evitando que los materiales plásticos terminen en rellenos sanitarios.

En 2016, Angumba realizó una investigación donde pudo demostrar que los ladrillos con residuos de PET resultaban con excelentes resultados para mampostería no portante. En la investigación, durante el proceso de elaboración de los ladrillos, se pudo evidenciar que al reemplazar el polímero por el árido fino resultó una buena dosificación, se utilizó el residuo en 10%, 25% y 40% en sustitución del agregado, de acuerdo con sus ensayos de ladrillos se pudo observar que a medida que se incrementa la adición del polímero, se reduce de forma considerable la resistencia de los ladrillos patrón, es decir, la adición del PET tiene considerable éxito, pero hasta ciertos niveles, lo que se evidenció es que la dosificación del 25%, alcanzo un valor promedio de 284.60 kg/cm<sup>2</sup>, en esta investigación se concluyó que un aumento del PET en las mezclas genera un esponjamiento del producto (ladrillo), provocando un incremento de los vacíos y disminuyendo la resistencia de los especímenes.

Lo anterior sobre la eficacia de los polímeros en ladrillos lo corrobora Ortiz *et al.*, en el 2018 donde estudiaron la reutilización de materiales de desecho industrial, como el polímero, en alternativa para la sustitución de agregados pétreos en la elaboración de tabicón hueco. A partir de dicho trabajo determinaron que la interacción de la mezcla polimérica con el cemento Portland disminuye el proceso de carbonatación en comparación con el tabicón comercial, sus resultados obtenidos indicaron que los prototipos son elementos ligeros, pero de alta resistencia a la compresión, y resistentes a los factores

agresivos en el ambiente, encontrando mejores propiedades estructurales y de resistencia que el tabicón tradicional.

## **2.7 Normativa aplicable para la elaboración de ladrillos**

El organismo encargado de elaborar normas mexicanas aplicables a los elementos, componentes, tecnologías, procesos y servicios de la industria de la construcción acordes con las condiciones del país es el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C. (ONNCCE), que en la actualidad está acreditado como Organismo Nacional de Normalización (1994) por la Dirección General de normas de la Secretaría de Economía; como Organismo de Certificación (1997) por la Entidad Mexicana de Acreditación y está aprobado por la Secretaría de Economía, la Secretaría de Desarrollo Social, la Comisión Nacional de Ahorro de Energía y la Comisión Nacional del Agua y como Organismo de Certificación de Sistemas de Calidad (2000) por la Entidad Mexicana de Acreditación.

La NMX es una especificación enfocada a la calidad de productos, procesos, sistemas y servicios. La emisión queda a cargo de los Organismos Nacionales de Normalización (ONN). También se identifica como "norma de calidad". Es de observancia voluntaria. Sin embargo, si un reglamento de construcción cita una NMX la vuelve obligatoria en el lugar. También se pueden estipular en contratos, proyectos, etc.

### **2.7.1 NMX-C-404-ONNCCE-2013**

Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural- Especificaciones y métodos de prueba.

Esta norma mexicana establece las especificaciones y métodos de prueba que deben cumplir los bloques, tabiques (ladrillos) y tabicones para uso estructural en las edificaciones.

La presente norma mexicana es aplicable a los bloques, tabiques (ladrillos) tabicones de fabricación nacional y de importación, que se comercialicen en territorio nacional.

### **2.7.2 Definiciones**

Las definiciones comprendidas en esta normativa son las siguientes:

**Bloque:** Es un componente para uso estructural de forma prismática, que se obtiene por moldeo del concreto o de otros materiales, puede ser macizo o hueco.

**Tabique (ladrillo):** Es un componente para uso estructural, de forma prismática fabricado con arcillas comprimidas o extruidas, mediante un proceso de cocción o de otros materiales con procesos diferentes.

Tabicón: Es un componente macizo para uso estructural de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales.

### 2.7.3 Clasificación

Los productos objeto de la presente norma se clasifican en 3 tipos y de acuerdo con los materiales con que se realizan según se especifica en la tabla 11.

Tabla 11.- Clasificación de piezas de acuerdo con los materiales empleados para su fabricación

Tipo de pieza	Materiales	Forma
Bloque	Grava-Cemento	Rectangular
	Arena-Cemento	Rectangular
	Barro extruido	Rectangular
	Barro recocido	Rectangular
	Sílico calcáreo	Rectangular
	Otros	Otras
Tabique (ladrillo) Macizo Hueco Multiperforado	Barro extruido	Rectangular
	Barro recocido	Rectangular
	Otros (concreto)	Otras
Tabicón	Grava-cemento	Rectangular
	Arena-cemento	Rectangular
	Tepojal-cemento	Rectangular
	Otros	Otras

Fuente: NMX-C-404-ONNCCE-2013

Esta norma se complementa con las siguientes normas mexicanas vigentes que se muestran en tabla 12.

Tabla 12.- Normativa complementaria

NORMA MEXICANA	ESPECIFICACIÓN
NMX-036-ONNCCE-2013	Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines
NMX-037-ONNCCE-2013	Absorción total y absorción inicial
NMX-038-ONNCCE-2013	Determinación de dimensiones

#### 2.7.4 NMX-036-ONNCCE-2013

Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines: Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión. Se incluyen en esta norma, todos los bloques, ladrillos, tabiques y tabicones fabricados de cualquier material, para cualquier uso, el caso de tabiques y tabicones para muros de relleno o estructurales, las especificaciones especiales de resistencia con que tengan que cumplir se consultarán en las normas NMX-C-404-ONNCCE.

En la aplicación de la presente norma es importante señalar y dar a conocer los diferentes tipos de materiales auxiliares, equipos, aparatos e instrumentos que se utilizarán, resultando los siguientes:

Materiales auxiliares. - mortero de azufre, debe tener una resistencia mínima a la compresión de 34.3 MPa. (350 Kgf/cm<sup>2</sup>). Cabeceo con otros materiales yeso, o yeso y cemento de 5 mm, cubos de 5 cm: resistencia = 350 kg/cm<sup>2</sup> ≥ fp (resistencia a compresión de las piezas, referida al área bruta, kg/cm<sup>2</sup>)

Equipo, aparatos e instrumentos. -Horno Eléctrico, provisto con termostato que permita regular la temperatura a 378 K ± 5K (105 °C ± 5 °C).

Máquina de Prueba. - debe estar equipada con dos bloques de acero, cuya dureza Rockwell C, no sea menor de 60 y de dureza Brinnell N 620; uno de los cuales tiene asiento esférico que transmite la carga a la superficie superior de la probeta y el otro en un block plano rígido en el cual descansa la probeta. Cuando el área de aplicación de la carga de los bloques de acero no es suficiente para cubrir el área que se va a cargar en la probeta deben colocarse placas adicionales de acero que cumplan con los requisitos que se anotan en el párrafo siguiente, y se colocan entre los bloques de carga y la probeta cabeceada de modo que el centro de la superficie a la cual se le va a aplicar la carga se alinea con el centro de los bloques de la máquina.

Cuando se empleen placas de acero entre los bloques de carga y la probeta, estos deben tener un espesor igual, cuando menos a la tercera parte de la distancia de la orilla del bloque de carga a la esquina más distante de la probeta. En ningún caso el espesor de la placa debe ser menor de 13 mm como se muestra en la figura 13.

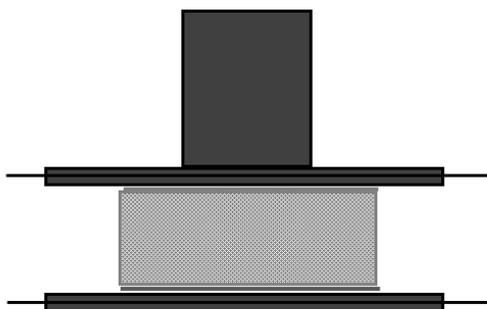


Figura 13.- Placas y bloques de acero  
Fuente: NMX-C-036-ONNCCE-2013

La muestra para hacer las determinaciones de resistencia de los productos a que se refiere esta norma se obtiene de manera aleatoria tomando 5 especímenes de cada lote de 10,000 piezas o fracción si es en planta, en obra se puede tomar una muestra de 5 especímenes por cada entrega, de acuerdo con el cliente, se recomienda una muestra de 5 por cada 10,000 a 40,0000 piezas suministradas.

Para la preparación de la probeta las unidades que forman la muestra para bloques, ladrillos (tabiques) o tabicones deben probarse cinco unidades completas, sin fallas ni fisuras y con sus caras paralelas, que representan el lote de entrega, con su respectiva marca para su identificación.

La superficie de las probetas que se van a quedar en contacto con las placas de la máquina de prueba se debe cabecear con mortero de azufre cuya resistencia mínima a la compresión sea de 34.4 MPa (350Kgf/cm<sup>2</sup>) para lograr que sean paralelas entre sí.

Este mortero ya aplicado debe dejarse fraguar el tiempo necesario. Cuando se trate de unidades con huecos debe evitarse que el mortero penetre más de 5mm dentro de ellos. Las condiciones ambientales no son determinantes en esta prueba, por lo que se puede efectuar a la temperatura ambiente.

Procedimiento de cabeceo, se utiliza una placa de 445 mm X 250 mm de 18.5 mm de espesor, con dos fronteras de placa de 6.5 mm de espesor de 50 mm de altura la cual delimita dos fronteras, para delimitar las otras dos.

Posterior se deberá hacer la prueba colocando la probeta con el centroide de sus superficies que van a recibir la carga alineado de manera vertical con el centro del bloque de carga de acero de la máquina de prueba. Para materiales homogéneos el centroide de la superficie de carga puede considerarse la vertical que pasa por el centro de gravedad de la probeta. Excepto por las unidades especiales destinadas a emplearse con sus agujeros en dirección horizontal se prueban con sus perforaciones en posición vertical; para otras unidades con perforaciones que se van a emplear horizontal deben probarse con dichas perforaciones en la posición en que se van a emplear. Aplicar la mitad de la carga que se espera como máximo, a una velocidad conveniente después de la cual se ajustan los controles de la máquina lo necesario para dar una velocidad uniforme de traslado de la cabeza móvil, de tal modo que la carga restante no se aplique en menos de uno ni más de dos minutos. Tomar la resistencia a la compresión de una probeta como la carga máxima de N (Kgf) dividida entre al área transversal de la probeta o sea el área total de una sección perpendicular a la dirección de la carga incluyendo aquellas que estén en los espacios huecos. La fórmula para el cálculo se muestra en la ecuación 1.

Ecuación 1.- Resistencia a la compresión

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

Donde:

R: Es la resistencia a la compresión en MPa (Kgf/cm<sup>2</sup>)

F: Es la carga máxima en N (Kgf)

A: Es el área transversal del espécimen (cm<sup>2</sup>)

La resistencia a compresión se reporta con una aproximación de 100 KPa (1.0 Kg/cm<sup>2</sup>). Se deben informar los resultados por separado para cada probeta y para el promedio de todas las unidades probadas, en la tabla 13 se observan los valores para cada tipo de espécimen a probar.

Tabla 13.- Resistencia a la compresión

NMX-C-404-ONNCCE-2013	
Tipo de pieza	Resistencia de diseño (f* $\rho$ ) N/mm <sup>2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )
Bloques de concreto vibrocomprimido	6 (60)
Tabicones	10 (100)
Tabique (ladrillo) recocido	6 (60)
Tabique (ladrillo) extruido o prensado (huevo vertical)	10 (100)
Tabique (ladrillo) multiperforado	10 (100)

Fuente: NMX-C-404-ONNCCE-2013.

### 2.7.5 NMX-C-037-ONNCCE-2013

Absorción total y absorción inicial: Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de la cantidad de agua que absorben los bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto, cerámicos o de cualquier otro material para la construcción, en las condiciones que se especifican, así como la absorción máxima inicial de los tabiques y bloques de cerámica o arcilla.

Se deberá contar con los siguientes equipos, aparatos e instrumentos para las dos pruebas señaladas:

Para absorción total en 24 h se necesita una balanza con capacidad adecuada y sensibilidad no menor de 0.1% de la masa de la pieza que se ensaye, provista de un sistema que permita la determinación de la masa del espécimen sumergido. Horno con control de temperatura capaz de mantenerse entre 373 K y 383 K (100°C y 110°C).

Para absorción Inicial:

- Horno ventilado capaz de mantener una temperatura de 261.1 K  $\pm$  5 K (70 °C + 5 °C)
- Instrumentos de medición (con precisión milimétrica)
- Báscula con capacidad mínima de 60 Kg y precisión mínima de 20 g.
- Recipiente de metal inoxidable de forma rectangular y área no menor a 1936 cm<sup>2</sup> y con una profundidad mínima de 1.3 cm.
- Dos barras de metal inoxidable de longitud entre 12.7 cm y 15.3 cm cuya altura debe ser de 6 mm de sección transversal rectangular, triangular o semicircular.
- Cronómetro.
- Frasco de 250 ml para regular el agua a nivel constante.

Los especímenes que se usen para la prueba deben ser representativos del lote de entrada, no deben tener ningún material en sus caras; en este caso se deben eliminar. La preparación y acondicionamiento de las muestras se deberá realizar como se indica a continuación dependiendo el tipo de prueba a aplicar.

Para absorción total en 24 h. Secado, los especímenes se secan en el horno a temperatura entre 373 K y 383 K (100 °C y 110 °C); se sacan de forma regular y se pesan hasta que, en dos pesadas sucesivas, la diferencia en masa no sea mayor de 0.2% de la masa de las piezas.

Para absorción inicial, conservar los bloques durante 24 horas en el laboratorio donde la temperatura debe ser de 20 °C + 3 °C y con una higrometría de 75%.

Desecar los bloques hasta llegar a un peso constante, el peso se considera constante cuando dos pesadas sucesivas efectuadas a un intervalo de 24 h denotan una disminución de peso de 0.1% con respecto a la pesada anterior. Dejar los bloques estabilizándose (reposando) dentro del laboratorio durante 6 h. Este método de prueba se realiza de acuerdo con las condiciones ambientales del lugar en que se realice la prueba.

El procedimiento de prueba de absorción total en 24 h. Se registran las masas de los 5 especímenes ya secos, se sumergen en agua a temperatura entre 290 K y 296 K (17 °C y 23 °C) por un periodo de 24 h; terminado este periodo se sacan y se elimina el agua superficial con un paño o papel absorbente; se seca también el interior de las celdas, y se vuelve a determinar su masa.

Procedimiento de prueba para absorción máxima inicial: se miden las dimensiones del espécimen con precisión milimétrica. Pesar cada bloque siendo esta lectura  $P_0$  (en gramos) sumergir una cara de acabado liso de manera tal que quede 5mm por debajo del nivel del agua. En un recipiente de metal inoxidable, de forma rectangular con ancho y largo tales que su área no resulte menor de 1936 cm<sup>2</sup> y con una profundidad interior mínima de 1.3 cm, coloque como soportes de espécimen dos barras de metal inoxidable. La longitud de cada barra debe encontrarse entre 12.7 cm y 15.3 cm y su altura debe ser de 6 mm $\pm$ . La sección transversal de las barras puede ser de forma rectangular, triangular o semicircular.

Llenar el recipiente con agua potable de manera que el nivel de agua se encuentre entre 3 mm y 3.5 mm arriba del nivel superior de los apoyos de metal inoxidable. Ajustar la posición de los soportes y del nivel de agua requerido con un ladrillo de referencia en estado saturado. Poner en contacto con el agua el espécimen de prueba sumergiendo una cara de acabado liso de manera tal que quede 5mm por debajo del nivel de agua por un periodo de 10 min, contar el periodo de contacto desde el momento que el espécimen toca la superficie del agua. Durante el periodo de contacto, mantenga el nivel del agua dentro de los límites preestablecidos, colocando un envase lleno de agua. Pasado el tiempo de contacto, retire el espécimen, removiendo el exceso de agua de las superficies expuestas con un trapo húmedo, no utilizarlo por más de 10 s en esta operación. Pesar de nuevo el espécimen en la báscula utilizada con anterioridad con la misma precisión, siendo esta lectura  $P_1$  (en gramos). Este procedimiento no tarda más de 2 min después del periodo de contacto, como se observa en la figura 14 y en la tabla 14 se muestran los resultados que se deben obtener de la prueba.

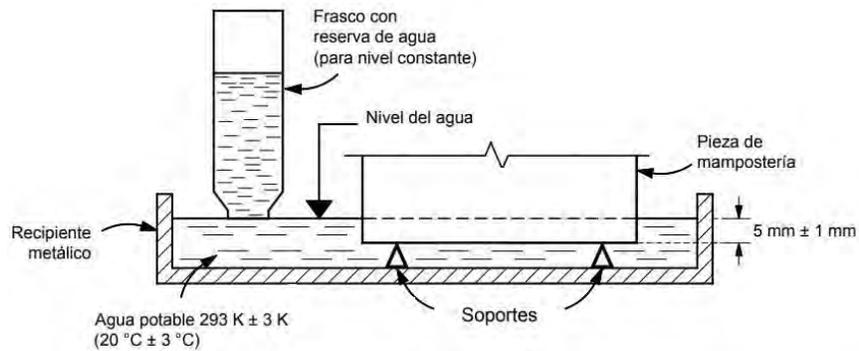


Figura 14.- Absorción inicial  
Fuente: NMX-C-037-ONNCCE-2013

Para la absorción inicial se emplea la ecuación 2 y para la absorción en porcentaje a 24 horas la ecuación 3.

Ecuación 2.-Coeficiente de absorción inicial

$$C_b = \frac{100M}{S\sqrt{t}} = \frac{100(M_1 - M_s)}{S\sqrt{10}}$$

Dónde:

$C_b$ : es el coeficiente de absorción inicial en  $\text{g} / (\text{cm}^2 \times \text{min } 0,5)$

$M$ : es la masa del agua absorbida por el bloque durante el ensayo en  $\text{g}$  ( $M = M_1 - M_s$ )

$M_1$ : es la masa húmeda en  $\text{g}$

$M_s$ : es la masa seca en  $\text{g}$

$S$ : es la superficie de la cara sumergida en  $\text{cm}^2$

$t$ : es el tiempo de inmersión en  $\text{min}$  ( $t = 10\text{ min}$ )

Ecuación 3.- Absorción en porcentaje 24 h

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

Donde:

$A$  es el volumen de agua absorbida referido al volumen aparente del espécimen en  $\text{dm}^3/\text{m}^3$ .

$M_s$  es la masa seca del espécimen en  $\text{g}$

$M_{SSS}$  es la masa saturada y superficialmente seca en  $\text{g}$

$M_a$  es la masa del espécimen sumergido en agua en  $\text{g}$

El factor 1000 se usa para presentar el resultado en  $\text{dm}^3/\text{m}^3$  (equivale a litros por  $\text{m}^3$ )

Tabla 14.- Absorción de agua

NMX-C-404-ONNCCE-2013		
Tipo de pieza	Absorción máxima de agua en % durante 24 h	Absorción inicial g/min
Bloques de concreto	12	5
Tabicones	15	5
Tabique (ladrillo) recocido	21	5
Tabique (ladrillo) extruido	15	5

Fuente: NMX-C-404-ONNCCE-2013

### 2.7.6 NMX-C-038-ONNCCE-2013

Esta norma establece el método de prueba para la determinación de las dimensiones de los tabiques, ladrillos, bloque y tabicones para la construcción.

Equipo, aparatos e instrumentos: Se puede usar cualquier regla graduada en mm o de preferencia vernier graduado en mm y calibrados, siempre que se pueda leer con aproximación a 1 mm o menos, se deben utilizar los dispositivos que se deseen para garantizar que se abrace la pieza en dirección perpendicular a la de la regla como mínimo un 25% de la longitud de la pared a medir como en la figura 15.



Figura 15.- Medición con regla

El espécimen se debe colocar en una superficie plana, la cual puede ser una mesa, descansando en la cara conveniente, para usar la regla, vernier o escuadra en posición horizontal como se observa en la figura 15.

De cada una de las dimensiones se hacen dos determinaciones, una colocando la escuadra de forma longitudinal y otra transversalmente. Dando vuelta 90° a la pieza, para seguir manejando la regla o vernier horizontalmente. Se ajustan bien los dispositivos que se estén empleando como brazos de la

regla procurando que hagan el mejor contacto posible con las caras del tabique o bloque. Que abracen cuando menos un 25% de la cara. Se toma la lectura en la regla o vernier con aproximación de 1 mm.

Cálculos: Se calculan los promedios aritméticos de los resultados de las mediciones duplicadas de cada una de las dimensiones de ladrillos y bloques para la construcción.

Resultados: Las medidas y las desviaciones deben reportarse con una aproximación de  $\pm 1$  mm redondeando los valores al mm más próximo.

### **2.7.7 Normativa internacional**

A nivel internacional, existe la Norma Española la cual determina los métodos de ensayo a los cuales se deben someter los fabricantes de bloques y ladrillos de hormigón.

El método de ensayo para determinar la resistencia a compresión de las piezas para fábrica de albañilería viene especificado en la norma europea UNE-EN 772-1:2011. Una de las principales características de las piezas para fábrica de albañilería de hormigón es la resistencia a compresión. Esta característica depende, para una misma configuración, entre otros factores, de su densidad y composición, pudiendo alcanzar las piezas para fábrica de albañilería de hormigón, valores superiores a los 15 N/mm<sup>2</sup> de resistencia normalizada. Las piezas de fábrica de albañilería de hormigón poseen la suficiente resistencia mecánica para asegurar la correcta transmisión de las cargas y garantizar su durabilidad, lo que permite su empleo en muros resistentes.

UNE-EN 772-13:2001: métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería, parte 13: determinación de la densidad absoluta seca y de la densidad aparente seca de piezas para fábrica de albañilería (excepto piedra natural).

### 3 CAPÍTULO METODOLOGÍA

La metodología que se siguió en esta investigación se dividió en 8 etapas que se describen a continuación.

En la etapa 1 se llevó a cabo la búsqueda de información para fundamentar la elaboración de tabicones con residuos de la construcción, poliolefinas y residuos del ingenio azucarero.

En la etapa 2 se realizó la recuperación de los residuos (RCD, PET, Llanta triturada y bagazo) en distintas industrias que producen o recuperan dichos residuos.

En la etapa 3 se llevó a cabo el diseño de experimento de las mezclas de los residuos recuperados, para posterior elaborar los tabicones.

En la etapa 4 los tabicones se sometieron a distintas pruebas de acuerdo con la NMX-C-404-ONNCCE-2013.

En la etapa 5 se realizó una caracterización cualitativa de los residuos empleados para la elaboración de los tabicones de acuerdo con la mejor mezcla evaluada.

En la etapa 6 se compararon los tabicones para determinar la mejor mezcla a partir de las pruebas realizadas.

En la etapa 7 se determinó mediante un estudio de factibilidad técnica la elaboración de tabicones, como propuesta alternativa del reciclaje.

En la última etapa se realizó un análisis de beneficios económicos y ambientales del tabicón con los mejores resultados.

En la figura 13 se resumen las etapas que se siguieron, más adelante se describirá a detalle cada una.

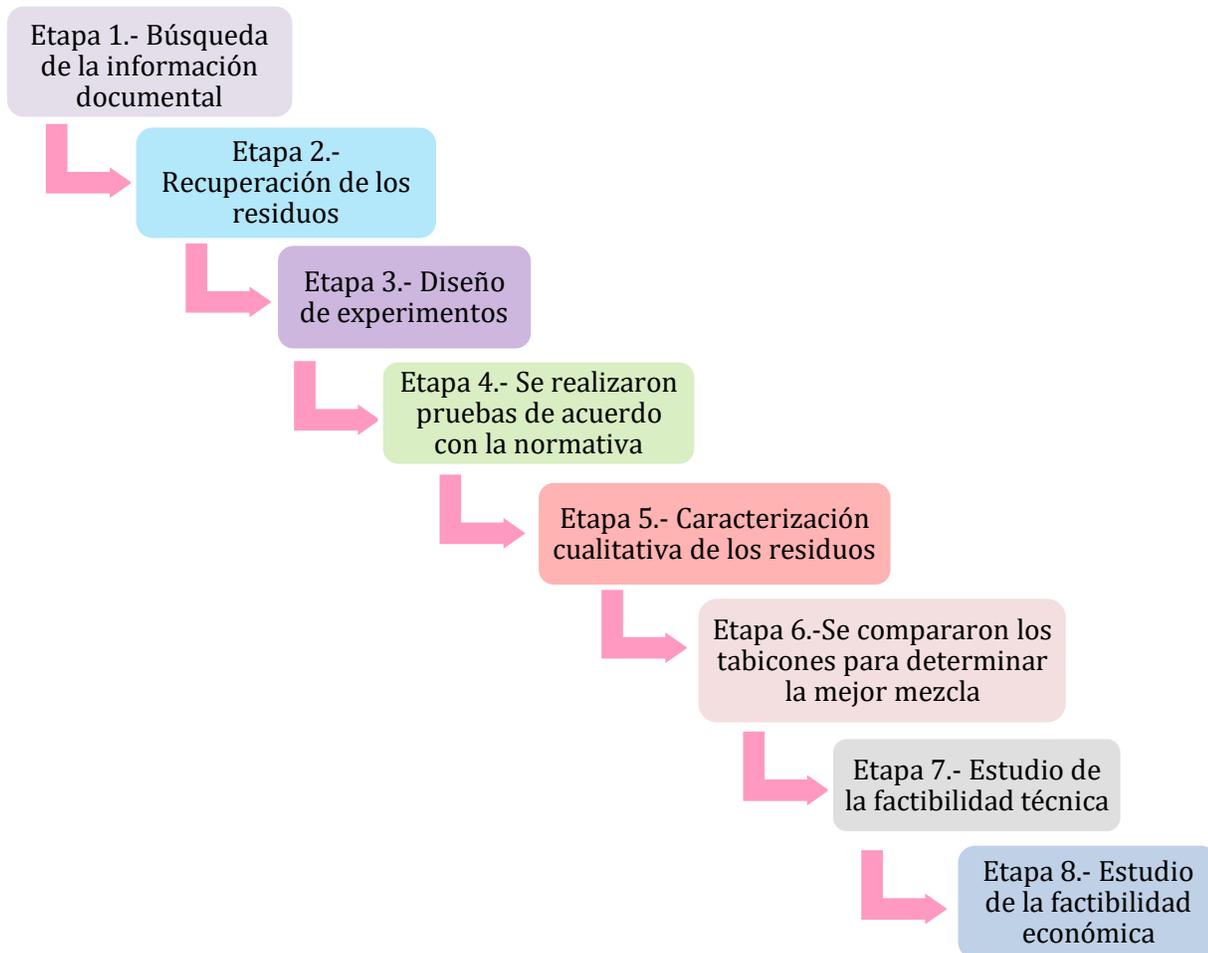


Figura 16.- Etapas del proyecto

### **3.1 Etapa 1-Investigación documental**

En esta etapa se recopiló y analizó la información documental necesaria para el desarrollo de la presente investigación, se llevaron a cabo consultas de publicaciones, artículos, libros, entre otras fuentes, así como de información disponible sobre la elaboración de tabicones a partir de residuos, información actual sobre las industrias donde se obtendrían los residuos y cifras de generación de dichos residuos. Se realizó la investigación sobre las normas aplicables para la fabricación y la evaluación de la calidad de los tabicones vigentes en el país.

Se definió la dosificación base de un tabicón para determinar el porcentaje y las materias primas que serían sustituidas en el cuerpo de espécimen, las dimensiones de estos y el proceso constructivo.

El tabicón de acuerdo con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2013 se define como un componente macizo para uso estructural de forma prismática fabricado de concreto u otros materiales.

### **3.2 Etapa 2-Recuperación de los residuos**

Los residuos para este proyecto se obtuvieron de industrias que generan residuos y de algunas empresas dedicadas a la recuperación de dichos residuos que se encuentran descritos en la tabla 15.

Tabla 15.- Residuos recuperados

RESIDUO	CARACTERÍSTICAS	ORIGEN DEL RESIDUO	IMAGEN
<p>Polvo de llanta</p>	<p>Denominado polvo de caucho o polvo de llanta malla 20, el residuo proviene de la trituración mecánica de los NFU que se hace de manera mecánica, cuenta con pureza del 99%</p>	<p>Se obtuvo de la empresa Genbruger productos de llanta reciclada</p>	
<p>Residuos de la construcción "¼ todo en uno".</p>	<p>Mezcla de residuos que provienen de la demolición (edificaciones, excavaciones, vialidades, urbanizaciones, caminos, etc.)</p>	<p>Fueron donados por la empresa Concretos Recicladados S.A. de C.V.</p>	
<p>Hojuelas de PET</p>	<p>Residuos que provienen del triturado mecánico de botellas PET post-consumo.</p>	<p>Se obtuvieron de la empresa Hojuela de PET</p>	
<p>Residuos del ingenio azucarero</p>	<p>Residuos de la molienda de la caña de azúcar.</p>	<p>Fueron donados por Ingenio azucarero Casasano ubicado en el Municipio de Cautla, Morelos</p>	

### 3.3 Etapa 3-Diseño de las mezclas

#### 3.3.1 Determinación de las mezclas

Una vez revisada la información y antecedentes sobre la fabricación de tabicones se determinó una dosificación base de agregados-cementantes más agua, la cantidad de agua debe ser la adecuada hasta lograr que la mezcla se sostenga en la mano, ya que puede variar con el contenido de humedad que posean los agregados como la arena.

Se plantearon mezclas preliminares con los RCD como sustitución de los agregados y se adicionó un porcentaje variable de acuerdo con la literatura consultada de otros residuos (PET, bagazo, llanta triturada) con el objetivo de observar el comportamiento de cada mezcla, y determinar las óptimas para la fabricación de los tabicones.

Para llevar a cabo las mezclas preliminares se realizaron con la sustitución de los agregados por residuos, se agregó el cemento y cal, se mezclaron en seco, se adicionó el agua para realizar el moldeo de acuerdo con el procedimiento para la fabricación.

Posterior se determinaron las mezclas idóneas y se realizaron 5 repeticiones de acuerdo con la norma mexicana.

Las proporciones de los materiales empleados se definieron de acuerdo con base en las características granulométricas de los residuos, así como en los principios de la fabricación de tabicones.

Se diseñaron 12 mezclas con variación en las proporciones de los residuos, las 2 primeras mezclas se realizaron con todos los residuos de la presente investigación, a partir de estas se determinaron las siguientes mezclas.

Se tomó como testigo una mezcla con residuos de construcción sin adición de otros residuos para evaluar las diferencias entre la mezcla ideal. Por cada mezcla planteada, se fabricaron 5 piezas (26 x 12 x 6 cm), por ser la cantidad de piezas necesaria para las observaciones y pruebas posteriores que se realizaron, además de ser lo que marca la normativa en el muestreo. Enseguida, en la tabla 16 se observan las mezclas utilizadas y el porcentaje de material empleado para cada una de ellas.

Tabla 16.- Diseño de mezclas utilizadas en la fabricación de tabicones

MEZCLA	RCD %	LLANTA %	BAGAZO %	PET %
M1	80	1	2	2
M2	78	1	3	3
M3	85	-	-	-
M4	83	2	-	-
M5	82.5	2.5	-	-
M6	82	3	-	-
M7	82	-	3	-
M8	81	-	4	-
M9	80	-	5	-
M10	80	-	-	5
M11	75	-	-	10
M12	70	-	-	15

### 3.3.2 Descripción del diseño estadístico

El diseño experimental para la presente investigación fue de 4 factores y 12 mezclas con 2 repeticiones, debido a que se buscó evaluar la influencia de los residuos que trabajaron mejor en función de las pruebas realizadas como marca la normativa, como variable de respuesta la resistencia a la compresión.

### 3.3.3 Materias primas de los tabicones

El **tabicón sólido de concreto** está conformado por una mezcla de materiales compactados:

**Agregados:** Finos y gruesos (granzón, tepecil\* y arena). En la presente investigación se sustituyeron los agregados naturales por residuos de la construcción y demolición “todo en uno” que corresponden a la trituración de residuos compuestos por ladrillos, bloques, cerámicos, morteros, adoquines, mamposterías y prefabricados producidos con granulometría de ¼” a finos esto como el cuerpo principal del tabicón siendo más del 75% de este.

Al cuerpo base de RCD se le fue dosificando los siguientes residuos en distintos porcentajes

- a) Escamas de PET (polyethylene terephthalate) que es un tipo de plástico muy usado en envases de bebidas y textiles
- b) Polvo de llanta que se obtiene de un proceso de molienda del neumático.
- c) Bagazo que es el residuo de la molienda de la caña de azúcar.

\*Tepecil: este es un mineral de origen volcánico de color blanco, de consistencia suave y porosa muy parecido a la piedra pómez, se distingue por su gran facilidad para moldear y capacidad de cohesión.

**Cemento:** es un conglomerante hidráulico que, mezclado con agregados pétreos (árido grueso o grava, más árido fino o arena) y agua, crea una mezcla uniforme, maleable y plástica que fragua y se endurece al reaccionar con el agua, adquiriendo consistencia pétreo, denominado hormigón o concreto. Su uso está muy generalizado en construcción e ingeniería civil, siendo su principal función la de aglutinante. Puede utilizarse cualquier cemento hidráulico para uso general en la construcción, aunque presta especial atención a la clase de resistencia del concreto. El cemento recomendado para este tipo de bloques es el cemento Pórtland, en la presente investigación se utilizó Cemento Portland Ordinario, Clase Resistente 30 de Resistencia Rápida, Resistente a los Sulfatos (CPO 30 R RS), Moctezuma.

**Cal:** Mejora la plasticidad del mortero, la retención del agua, la capacidad de contenido de arena, la adherencia y la flexibilidad, ayudando además a evitar la eflorescencia curando las fisuras pequeñas. Para los tabicones se utilizó cal hidratada comercial en saco “Calidra”.

**Agua:** Agua potable

### 3.3.4 Dimensión de los tabicones

Las dimensiones de fabricación se determinaron de acuerdo con la norma NMX-C-404-ONNCCE-2012. Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso estructural- especificaciones y métodos de prueba. Cada pieza se realizó con las dimensiones que se observan en la figura 17.

Las dimensiones nominales mínimas que las piezas cumplieron son: alto 6 cm, ancho 12 cm y largo 26 cm  $\pm$  3 mm.

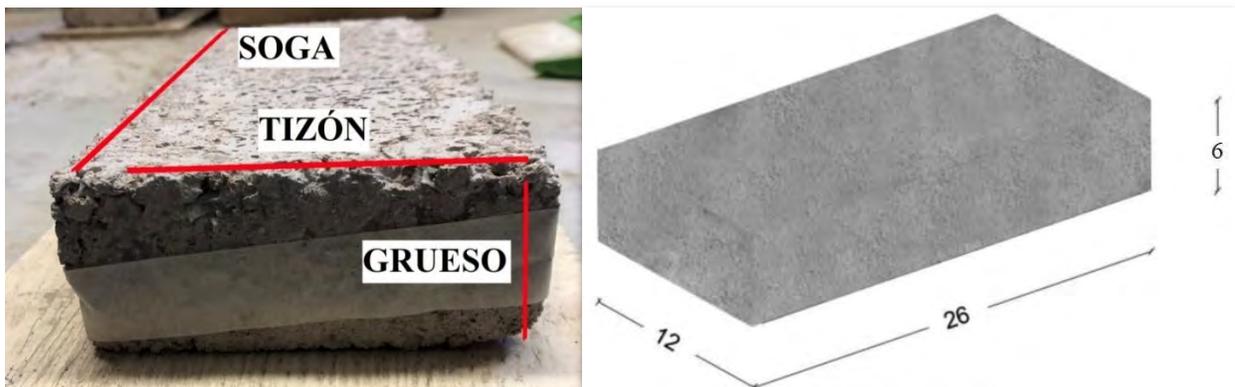


Figura 17.- Dimensiones y partes que conforman los tabicones

### 3.3.5 Dosificación

Así mismo a partir de los parámetros analizados, se definió la proporción de materiales base para la fabricación de los tabicones empleando las siguientes dosificaciones como base y de acuerdo con la presente investigación se fue variando un porcentaje de los RCD y residuos de PET, llanta y bagazo como sustitución de los agregados. La dosificación base sobre la que se trabajó es la que se observa en la tabla

17, que es 16:1:1:2 (dieciséis partes de residuos de construcción y demolición “todo en uno”, una parte de cemento, una parte de hojuela de PET y dos partes de cal hidratada).

Tabla 17.- Dosificación base del tabicón

Material	%
Residuos de construcción “todo en uno”	80
CEMENTO	5
CAL	10
Residuos	2-5

A la dosificación base se le agregó agua de 1200 a 1400 ml dependiendo de la cantidad de humedad de los residuos al momento de fabricar los tabicones. Los residuos como el bagazo, PET y llanta se fueron dosificando de acuerdo con su comportamiento dentro de las mezclas, analizando la manejabilidad de la mezcla.

### 3.3.6 Mezclado

Una mezcla es una materia formada al combinar dos o más sustancias sin que suceda una reacción. Esta es una de las partes más importantes del proceso, ya que de la mezcla depende el 70% de la calidad final del producto. La alimentación a este proceso se realizó a través de un proceso manual (a nivel producción masiva se realiza mediante equipos en un proceso automatizado) se fue dosificando el material en cantidad y los tiempos requeridos para el mezclado. Los agregados, los cementantes junto con el agua dieron como resultado una mezcla que formó la mezcla para el moldeo el cual con el balance adecuado de las materias primas permitió alcanzar una manejabilidad adecuada y un producto con el acabado de calidad ideal en la figura 18 se observa el mezclado manual que se realizó.



Figura 18.- Mezclado de los residuos y cementantes para el tabicón

### 3.3.7 Moldeo de los especímenes

El equipo que se utilizó para la elaboración de los tabicones fue una máquina artesanal en la cual se pueden sacar dos especímenes al mismo tiempo como se muestra en la figura 19. El moldeo se realizó en el Instituto de Ingeniería.



Figura 19.- Máquina moldeadora de ladrillo

### 3.3.8 Secado

Los especímenes moldeados fueron montados sobre bases de madera o metal que ayudaron al traslado hacia la zona destinada para almacenarlo en lo que el material fraguaba. El tiempo para que el material fragüe es de uno a tres días a temperatura ambiente, se mantuvo con agua y humedad correcta para evitar grietas o deformidades del material, y de esta manera alcanzara la resistencia adecuada.

### 3.3.9 Proceso de fabricación de tabicones

La fabricación se llevó a cabo de acuerdo con el proceso que se observa en la figura 20 en donde los pasos que se siguieron fueron 8 que se enlistan a continuación:

- 1.-Se recuperaron los residuos y materias primas en las distintas industrias, así como los cementantes para el tabicón.
- 2.-Se realizó el pesaje de acuerdo con las dosificaciones del diseño para cada mezcla.
- 3.-Una vez pesadas las proporciones se realizó el mezclado de los residuos con los cementantes de forma manual, se le fue añadiendo agua para obtener la consistencia adecuada para el moldeo.
- 4.-El vaciado y moldeo de los tabicones se realizó en el Instituto de Ingeniería en una máquina artesanal.
- 5.- Después de darle forma en la maquina al espécimen, se realizó el desmolde de los tabicones colocándolos sobre una madera para evitar que sufra daños.
- 6.- El curado se llevó a cabo ya que se encontraban las piezas desmoldadas, para este proceso se mantuvieron a los tabicones húmedos para evitar grietas, y se monitorearon todo el tiempo.
- 7.- Se realizó el pesaje y la medición.
- 8.- Se llevaron a cabo las pruebas de calidad que estipula la normativa vigente como es la de resistencia y absorción inicial para poder evaluar los tabicones fabricados.



Figura 20.- Proceso constructivo para la fabricación de los especímenes

### 3.4 Etapa 4-Pruebas de laboratorio

#### 3.4.1 Determinación de dimensiones

En la norma NMX-C-038-ONNCCE-2004 se establece el método de prueba para la determinación de las dimensiones de tabicones y bloques para construcción. Las dimensiones de fabricación de los ladrillos se determinaron mediante mediciones con instrumentos como lo indica la normativa como se observa en la figura 18.



Figura 21.- Dimensiones de los especímenes elaborados

### 3.4.2 Prueba de absorción inicial

La norma mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013 establece el método de prueba para la determinación de la cantidad de agua máxima inicial que absorben los tabicones, el procedimiento que se siguió se puede observar en la figura 22, para el apartado de los cálculos se determinaron con la ecuación 2.



Se metió el tabicón en el horno de secado, hasta que después de dos pesadas la diferencia no era mayor de 0.2% de la masa de la pieza. Se obtuvo el peso del espécimen seco y estabilizado.



Se preparó un recipiente rectangular con un área no menor  $1936 \text{ cm}^2$  y con una profundidad de 1.3 cm, se colocaron dos barras de metal inoxidable de longitud entre 12.7 cm y 15.3 cm cuya altura debía de ser de 6 mm.



Se agregó agua potable al recipiente y se mantuvo con un depósito que regulaba el nivel, se colocó una pieza de referencia (ladrillo rojo saturado, con marca de 5 mm) para verificar las condiciones y nivel de agua.



Se colocó una cara del tabicón en el recipiente preparado con anterioridad y sobre las placas metálicas, ya que se encontraba en posición se tomó el tiempo (10 min).



Pasado el tiempo se retiró del agua el tabicón, se quitó el exceso de agua por 15 segundos con un trapo y posterior se realizó el pesaje. Posterior se determinó mediante ecuaciones el resultado.

Figura 22.- Prueba de absorción inicial

### 3.4.3 Resistencia a la compresión

La norma NMX-C-036-ONNCCE-2013 establece el método para la determinación de resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines.

El ensayo se realizó después de 28 días de la fecha de la elaboración del espécimen, en la figura 23 se puede observar el procedimiento para realizar la prueba, donde se utilizó la ecuación 1 para los cálculos de la resistencia.



Se realizó el cabeceo de los tabicones.



Se elaboró una mezcla de 4:1 yeso-cemento, posterior se confinaron los tabicones por sus 4 lados de una cara con ayuda de un nivel, para realizar el cabeceo uniforme.



Se vació la mezcla elaborada sobre el molde que se colocó en la cara cuidando que el nivel de la mezcla permaneciera en el espesor del molde, se dejó secar y se realizó el procedimiento para ambas caras.

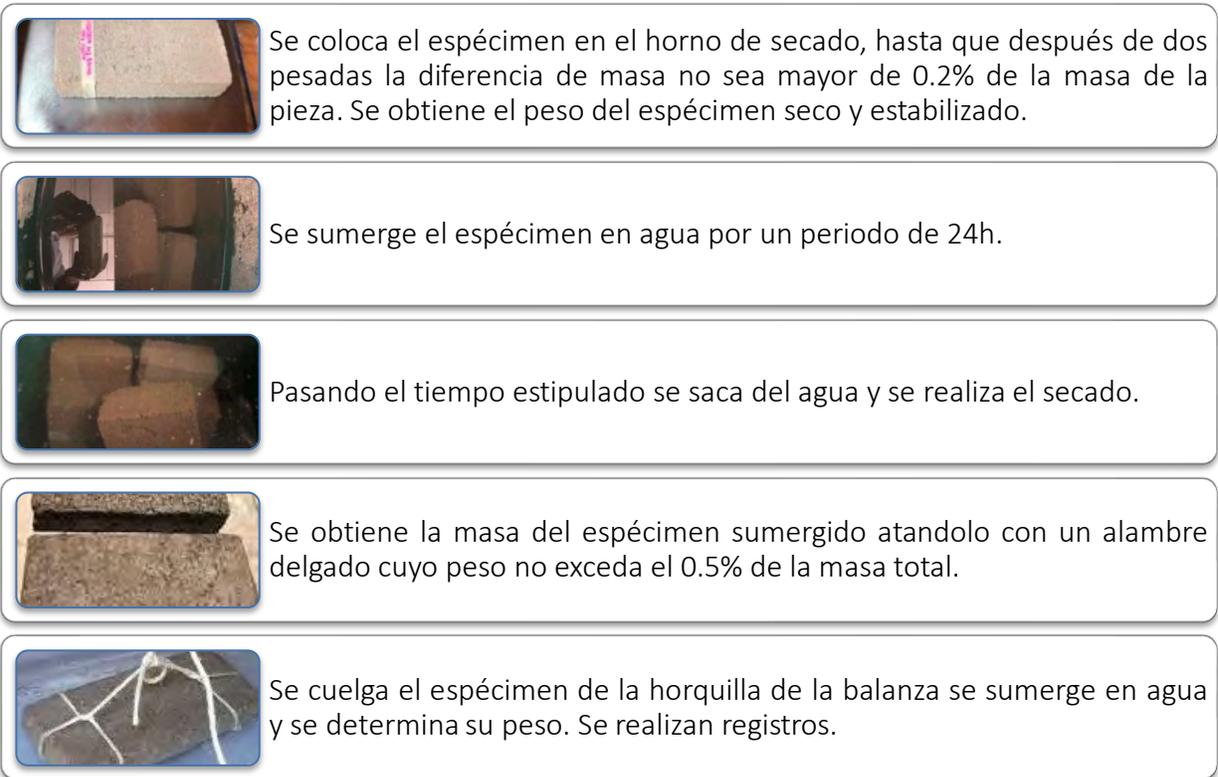


Cuando secaron los tabicones se colocaron en el centro de la superficie del equipo de compresión, se colocó una placa como lo marca la norma para alcanzar la altura, para finalizar se aplicó la carga, cuando el espécimen sufrió fisuras se dio por terminada la prueba y se registró el dato para cada uno.

Figura 23.- Procedimiento para llevar a cabo la prueba de compresión

### 3.4.4 Prueba absorción en porcentaje 24 h

La determinación se lleva a cabo mediante el procedimiento descrito en la figura 24 y con la ecuación 3 para realizar los cálculos necesarios.



El diagrama muestra cinco pasos de un procedimiento de prueba de absorción a 24 horas, cada uno con una imagen y una descripción:

- Paso 1:** Se coloca el espécimen en el horno de secado, hasta que después de dos pesadas la diferencia de masa no sea mayor de 0.2% de la masa de la pieza. Se obtiene el peso del espécimen seco y estabilizado.
- Paso 2:** Se sumerge el espécimen en agua por un periodo de 24h.
- Paso 3:** Pasando el tiempo estipulado se saca del agua y se realiza el secado.
- Paso 4:** Se obtiene la masa del espécimen sumergido atándolo con un alambre delgado cuyo peso no exceda el 0.5% de la masa total.
- Paso 5:** Se cuelga el espécimen de la horquilla de la balanza se sumerge en agua y se determina su peso. Se realizan registros.

Figura 24.- Procedimiento para llevar a cabo la prueba absorción a 24 h

## 3.5 Etapa 5- Caracterización de los residuos empleados

### 3.5.1 Triturado de llanta

Para obtener la caracterización del residuo empleado en el siguiente trabajo, el residuo se obtuvo de la empresa GENBRUGER PRODUCTOS DE LLANTA RECICLADA en donde los neumáticos pasan por trituración mecánica de los NFU, que se hace mediante un sistema de maquinaria especializado con pureza del 99%, quienes proporcionaron la ficha técnica de su producto. Se trata de gránulos y polvo de caucho vulcanizado procedente de la trituración mecánica a temperatura ambiental, en la tabla 18 se muestra la composición media.

Tabla 18.- Composición media de los neumáticos usados (%)

COMPOSICIÓN/COMPONENTE	PESO (Kg)
Caucho vulcanizado (%)	<0.10 para tamaños de caucho superiores a 6 mm.
Materiales ferromagnéticos (%)	< 0.01 para tamaños de caucho inferiores o iguales a 6 mm
Materiales textiles (%)	< 0.05
Otros materiales (%)	<0.05

Fuente: Ficha proporcionada por GENBRUGER

La ficha técnica proporciona las características físicas y químicas del triturado de llanta con la denominación comercial Granulado o polvo de llanta malla #20 de 0.8 milímetros, las propiedades se pueden observar en la tabla 19.

Tabla 19.- Propiedades físicas del triturado de llanta

PROPIEDADES FÍSICAS	DESCRIPCIÓN
Forma	Sólidos en forma de granulados y polvo
Color	Negro
Olor	Caucho característico
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	0.7942-1.032
Peso específico	1.15-1.27
Humedad (%)	<0.75
Punto de combustión (°C)	300-450
PROPIEDADES QUÍMICAS	DESCRIPCIÓN
Extracto cetónico (%)	5.00-22.00
Contenido de cenizas (%)	7.00-11.00
Contenido en polímeros NR/SR (%)	70/30-60/40
Contenido negro de humo (%)	26.00-38.00
Contenido caucho natural (%)	10.00-35.00
Contenido en hidrocarburo de caucho (%)	57.00-58.00
Contenido de Plomo (mg/kg)	<0.03
Azufre (%)	1.0-7.00
pH (25°C)	8.12-8.20
Solubilidad	Insoluble en agua, parcialmente soluble en acetona

Fuente: Empresa Genbrugger productos de llanta reciclada

### **3.5.2 Residuos de construcción y demolición**

Los residuos de la construcción y demolición del presente trabajo fueron una donación por parte de la empresa denominada Concretos Reciclados, la cual cuenta con una capacidad de producción de 2000 t/diarias, en donde los materiales son sometidos a un proceso de separación, trituración y clasificación. En el presente trabajo se utilizaron residuos que corresponden a la trituración de residuos compuestos por ladrillos, bloques, cerámicos, morteros, adoquines, mamposterías y prefabricados producidos con granulometría de un cuarto de pulgada a finos.

### **3.5.3 PET**

El polietileno tereftalato, mejor conocido como PET por sus siglas en inglés, es uno de los materiales que de forma común se utilizan en la industria embotelladora de bebidas por sus características muy particulares que favorecen la distribución, el almacenaje y la presentación de algunos productos, en la actualidad la mayoría del PET se recicla de forma mecánica (uso de residuos plásticos troceados y más o menos limpios para su uso en la fabricación de productos plásticos), con los inconvenientes propios de un material con impurezas como las botellas, que llevan adheridas pegatinas y pinturas. El reciclado de botellas de PET de un sólo uso comenzaría con la trituración de las botellas en escamas que serán lavadas para eliminar la etiqueta y la suciedad para la presente investigación se adquirió escama (hojuela) de PET como sustitución en un porcentaje del cuerpo de los tabicones por sus propiedades, este residuo se obtuvo de una empresa dedicada a la recuperación de PET.

### **3.5.4 Bagazo**

Durante la zafra, la caña cosechada es transportada en donde será procesada para obtener el jugo que se destinará a la producción de azúcar del proceso se desecha el bagazo que es el residuo que queda luego del proceso de extracción. Para la presente investigación se obtuvo del ingenio Casasano por medio de una donación del residuo que por las cifras de residuos que se produce se busca una alternativa para la disposición de estos.

## **3.6 Etapa 6-Evaluación y comparación de los especímenes**

### **3.6.1 Análisis de la varianza (ANOVA)**

Para la comparación se utilizó el análisis de la varianza (ANOVA), el cual permite determinar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias poblacionales no difieren.

El método de análisis de varianza se basa en el siguiente modelo estadístico lineal que se observa con la ecuación 4.

$$\text{Ecuación 4.- Análisis de varianza}$$

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \sum_{j=1,2 \dots n} \epsilon_{ij} \quad \left( \begin{array}{l} i = 1, 2 \dots a \\ j = 1, 2 \dots n \end{array} \right)$$

$\mu$ = es el valor de tendencia central (media)

$\tau$ = efecto debido al tratamiento (a niveles de tratamiento y n observaciones efectuadas)

$\sum \epsilon_{ij}$ = error aleatorio asociado al tratamiento u observaciones

De tal forma que se utiliza la ecuación 5 para el error aleatorio asociado al tratamiento

$$\text{Ecuación 5.- Error aleatorio asociado al tratamiento}$$

$$\sum (y_{ij}) = \mu_i = \mu + \tau_i \quad i = 1, 2 \dots a$$

Así:

$$H_0: \mu = \mu_1$$

$$H_1: \mu \neq \mu_1$$

La prueba de hipótesis se realiza utilizando el estadístico F el cual radica en:

F= varianza entre grupos/varianza al interior de los grupos

La  $F_c$  calculada se estima mediante la ecuación 6.

Ecuación 6.- Varianza entre grupos  $F_c$  calculada

$$F_c = \frac{\frac{SSA}{a-1}}{\frac{SSE}{n-a}}$$

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_k)^2$$

$$SST = SS_{\text{Tratamientos}} + SS_E$$

$$SST = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_k)^2 = SST = r \sum_{i=1}^a (y_k - Y)^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_k)^2$$

$$F > F_{\alpha (k-1, (n-1) k)}$$

## 4 CAPÍTULO RESULTADOS

Del trabajo con anterioridad expuesto, a continuación, se presentan los resultados obtenidos de acuerdo con cada objetivo propuesto en el presente trabajo de investigación.

### 4.1 Etapa 1-Investigación documental

Los resultados de la primera etapa se basaron en la revisión de información sobre la situación actual de los residuos que se emplearon.

#### 4.1.1 Generación de residuos

La demanda de recursos naturales que implica el crecimiento demográfico, las emisiones y liberaciones nocivas al ambiente (en aire, agua y suelos) en las áreas urbanas, y una persistente explotación de los recursos naturales por parte de la población rural, es lo que vive México actualmente (Pérez, 2010). Las consecuencias de dichas actividades y de la mala disposición, como el bajo porcentaje de reutilización o reciclaje de los residuos provocan impactos negativos que repercuten en la población y el ambiente.

#### 4.1.2 Residuos de la construcción y la demolición

Para los residuos de la industria de la construcción se estima que la generación es de 12 millones de t/año, de esta cifra 30,000 t/día corresponden a nivel nacional (PNPGIR, 2009-2012), de los cuales 7,000 t/día son de la Ciudad de México. (NADF-007-RNAT-2013). Solo el 4% de los RCD que se generan, son aprovechados (3% reciclaje y 1% reúso), el resto se va a tiros autorizados, rellenos o sitios no controlados.

Los residuos de la presente investigación son provenientes de la empresa “Concretos Reciclados” en donde se obtienen a partir de un proceso de clasificación, separación y trituración de los residuos que llegan a este sitio, con una previa separación en obra, ya que no se aceptan con otro tipo de residuos en la figura 25 se observan los residuos en el sitio donde se obtuvieron.



Figura 25.- Residuos de la construcción en el proceso de triturado

Entre los residuos que ofrece Concretos Reciclado existen dos tipos A y B, para la presente investigación se utilizó tipo B todo en uno que son de la granulometría de un cuarto a finos, como se observa en la figura 26 su granulometría es de 6.3 mm.

Tipo A. Se denominan residuos de construcción solo cementantes y son los provenientes de la trituración de materiales compuestos por residuos exclusivos de concreto y se clasifican de acuerdo con su granulometría en una pulgada, tres octavos de pulgada y un cuarto de pulgada a finos.

Tipo B. Estos se denominan residuos de construcción todo en uno y son los provenientes de la trituración de materiales compuestos por residuos de ladrillo, bloque, cerámicos, morteros, adoquines, mamposterías y prefabricados. Para este grupo solo se considera la granulometría de un cuarto de pulgada a finos.

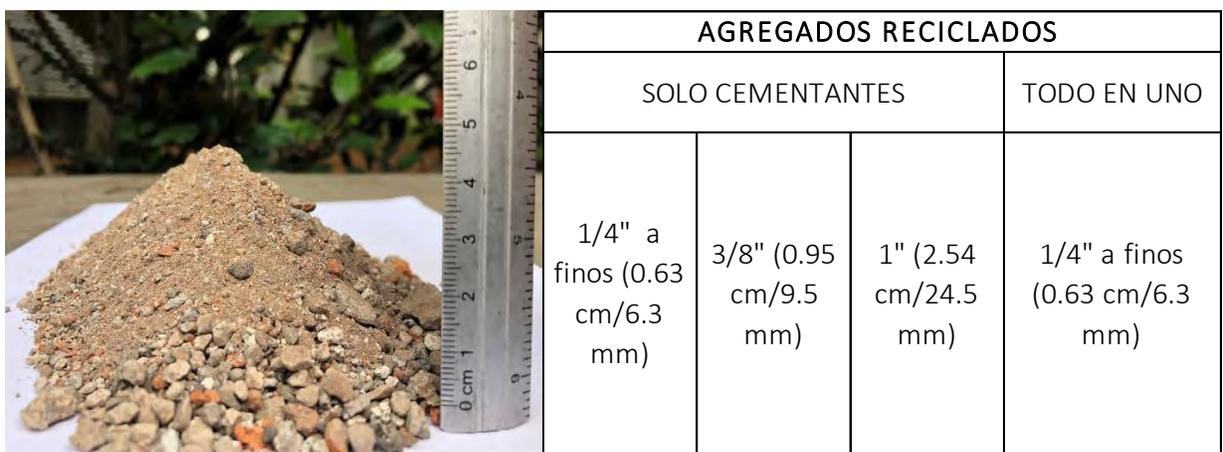


Figura 26.- Clasificación granulométrica  
Fuente: Adaptado de Aquino 2015

En el presente trabajo los residuos utilizados son los de la categoría denominada “todo en uno” que sustituyeron a los agregados vírgenes (gravas, arenas naturales de río o mina, arenas y piedrines de trituración de roca de canteras o de canto rodado) para el cuerpo del tabicón. Los agregados son un componente importante de los bloques, ya que representan un 85% a 90% de la unidad. Una de las características con las que deben contar es la posibilidad de aglutinarse por medio del cemento para formar un cuerpo sólido, por lo que es muy importante su limpieza y durabilidad.

#### 4.1.3 Plásticos

En México del total consumido de plásticos, más de 1 millón de t/año se convierten en desecho, aunque ya se produce polímeros biodegradables naturales como sustituto de los convencionales, el problema es que los derivados del petróleo son más baratos haciendo que desde el punto de vista económico no sean competitivos. En México se estima que se producen 300 millones de toneladas de plásticos al año, de las

cuales sólo se recicla 3% (Santillán, 2018). Dentro de los cuales se encuentran las poliolefinas como PET (figura 27), llantas, bolsas plásticas, embalajes, bienes de uso doméstico, muebles y tuberías en la industria de construcción, que son imprescindibles. Estos productos están hechos con polímero, polietileno o polipropileno que son los representantes más grandes de las poliolefinas, el grupo más numeroso de los plásticos (Chemische, 2009).



Figura 27.- Hojuelas de PET

En la presente investigación se sustituyó del cinco al quince por ciento de los residuos de construcción todo en uno un cuarto a finos (0.63 cm/6.3 mm) que sirven como agregados para el tabicón, por hojuelas de PET con tamaños media a un cuarto de pulgada (12.7 mm a 6.35 mm) como se observa en la figura 27, por medio de trituración.

#### 4.1.4 Llantas

De los residuos de las llantas se generan 40 millones de t/año de las cuales solo se aprovecha el 10% que representan 4 millones de t/año, siendo esta parte de las poliolefinas, de las cuales sus cifras de aprovechamiento de los residuos son muy bajas, comparado con lo generado. En la presente investigación se sustituyó en los tabicones un porcentaje de los residuos de construcción para agregar triturado o polvo de llanta como se observa en la figura 28, y formar el cuerpo del tabicón.



Figura 28.- Polvo de llanta

#### 4.1.5 Residuos del ingenio azucarero

El bagazo de la caña es el residuo que queda después de la producción de azúcar y otros derivados, la cantidad de residuos que produce en la actualidad la industria azucarera es de 20 millones t/zafra de los cuales se aprovechan solo 2 millones t/año en composta o generación de energía.

En esta investigación se sustituye una parte de los residuos de construcción por residuos de la industria azucarera como es el bagazo como se observa en la figura 29.



Figura 29.- Bagazo recolectado del ingenio Casasano

Los residuos que se emplearon en la elaboración de los tabicones son: residuos de la construcción y demolición (RCD), bagazo proveniente de la industria azucarera, hojuela de PET y triturado de llanta.

La dosificación del espécimen será RCD como base, y un porcentaje de otro residuo (PET, llanta, bagazo) con el cual se realizará la mezcla; tuvo como cementantes: la cal con un 10% y cemento con un 5% como dosis fija, adicionando el agua necesaria para formar el cuerpo, después se curaron para pruebas posteriores.

#### 4.1.6 Normativa aplicable a los tabicones

La NMX es una especificación enfocada a la calidad de productos, procesos, sistemas y servicios. La emisión queda a cargo de los Organismos Nacionales de Normalización (ONN). También se identifica como "norma de calidad". Es de observancia voluntaria. Sin embargo, si un reglamento de construcción cita una NMX la vuelve obligatoria en el lugar. También se pueden estipular en contratos, proyectos, etc.

En la tabla 20 se muestra la norma y la especificación de las pruebas a las que se someterán los especímenes.

Tabla 20.- Normativa aplicable para pruebas en ladrillos

NORMA MEXICANA	ESPECIFICACIÓN
NMX-036-ONNCCE-2013	Resistencia a la compresión de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones y adoquines
NMX-037-ONNCCE-2013	Absorción total y absorción inicial
NMX-038-ONNCCE-2013	Determinación de dimensiones
NMX-C-404-ONNCCE-2013	Piezas para uso estructural
NMX-C-441-ONNCCE-2013	Piezas no estructurales

## 4.2 Etapa 2-Recuperación de los residuos

Los residuos empleados se obtuvieron de empresas dedicadas al reciclaje y con algunas generadoras de dichos residuos, como son los de la construcción y demolición, bagazo obtenido de un proceso de la molienda de la caña, llanta pulverizada y hojuelas de PET como se observa en la figura 30 y 31.



Figura 30.- Bagazo y RCD



Figura 31.- Triturado de llanta y hojuela de PET

### 4.3 Etapa 4-Pruebas de laboratorio

Como se estableció en el capítulo 3, se realizaron pruebas para evaluar el mejor tabicón de acuerdo con el resultado de las pruebas de resistencia a la compresión y absorción.

#### 4.3.1 Resultado de la prueba de resistencia

Posterior al periodo de secado, se realizó el cabeceo de los tabicones con una mezcla de yeso y cemento (4:1) como se observa en la figura 32.



Figura 32.- Cabeceo de los tabicones

Una vez que se cabecearon los especímenes se realizó la prueba de resistencia utilizando una prensa manual para el control de calidad del concreto (figura 33) con capacidad de 120 toneladas de presión, ubicada en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería. Se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 21 y la figura 33.



Figura 33.- Prueba de resistencia

Tabla 21.- Resultados de resistencia a la compresión

MEZCLA	F (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	R (kgf/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO
M1-TODO	24000	312.2	76.9	73.7
	22000	312.1	70.5	
M2-TODO	20000	312.3	64.0	63.3
	19500	312	62.5	
M3-RCD	15000	312.1	48.1	49.4
	15800	312	50.6	
M4-LLAN 2%	22000	312.1	70.5	69.7
	21500	312.2	68.9	
M5-LLAN 2.5%	28000	312.1	89.7	84.9
	25000	312	80.1	
M6-LLAN 3%	21000	312	67.3	66.5
	20500	312.1	65.7	
M7-BAG 3%	16500	312.2	52.9	51.3
	15500	312	49.7	
M8-BAG 4%	14500	312.2	46.4	47.2
	15000	312.2	48.0	
M9-BAG 5%	13500	312.2	43.2	40.9
	12000	312	38.5	
M10-PET 5%	36800	312.1	117.9	115.8
	35500	312	113.8	
M11-PET 10%	31000	312.1	99.3	97.7
	30000	312.2	96.1	
M12-PET 15%	30500	312.1	97.7	98.5
	31000	312.3	99.3	

La norma NMX-C-ONNCCE-404-2013 establece como resistencia mínima 100 kg/cm<sup>2</sup> para tabicones uso estructural. Como se puede observar en la Tabla 21, la mezcla con mayor resistencia a la compresión en los tabicones fabricados fue de 115.8 kg/cm<sup>2</sup> (11.35 MPa) que corresponde a la M10-PET 5% RCD y PET. En la figura 34 se observa el resultado de las pruebas.

Aunque las demás mezclas están por debajo de los 100 kg/cm<sup>2</sup> (9.8 MPa) de la norma antes mencionada, la norma NMX-C-ONNCCE-441-2013 establece como resistencia mínima 30 kg/cm<sup>2</sup> para tabicones de uso no estructural, y para este caso las mezclas cumplirían sobre lo estipulado en la norma.

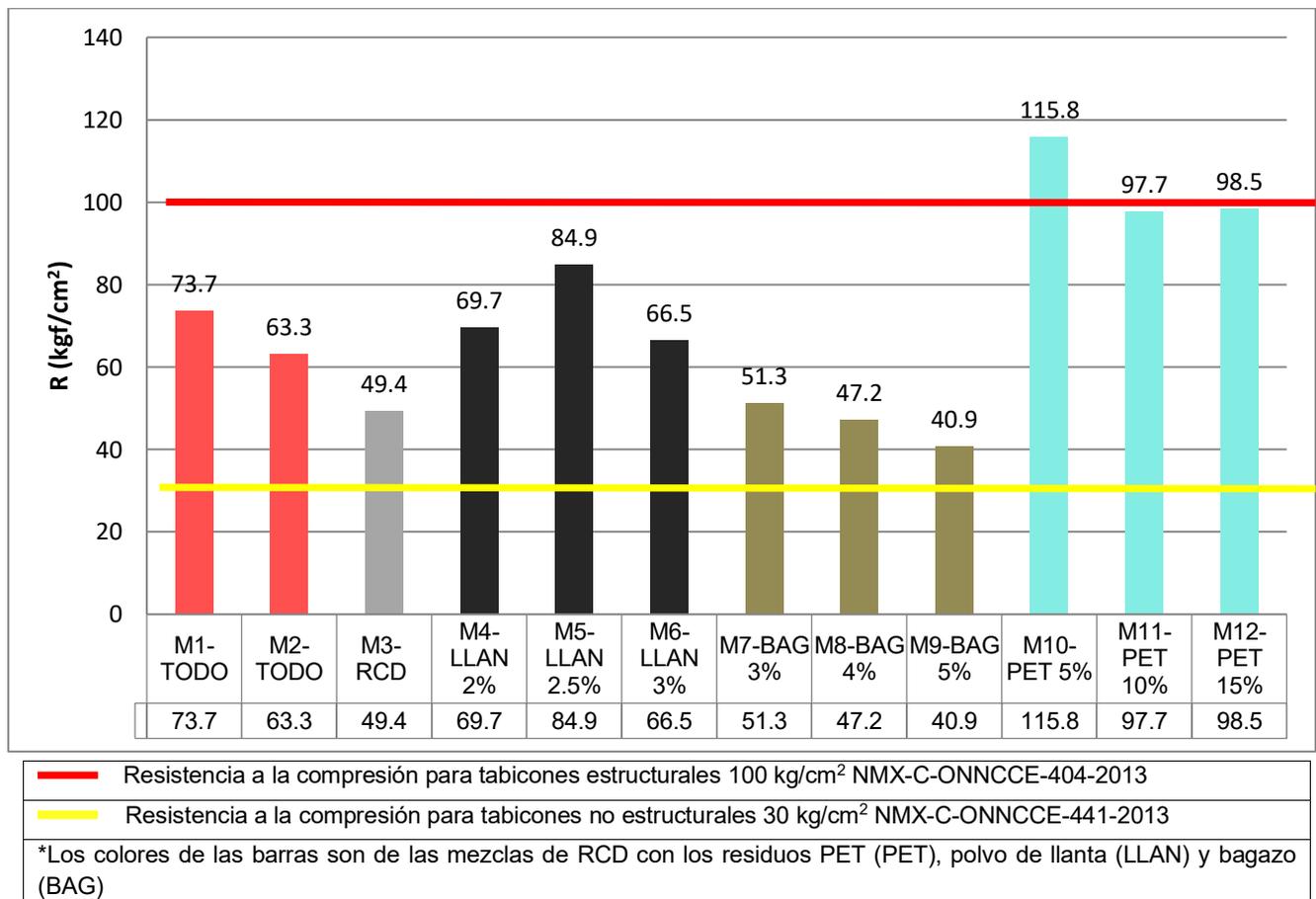


Figura 34.- Evaluación de resistencia a la compresión en tabicones

Para la gráfica de la figura 31 se tomaron los promedios de la resistencia a la compresión de los tabicones elaborados a partir de las mezclas diseñadas. Con los resultados obtenidos mostraron el desempeño mecánico de los residuos de construcción “todo en uno” un cuarto a finos y los residuos empleados (PET, llanta, bagazo) para sustituir dentro del cuerpo de un tabicón los agregados pétreos. La mezcla M10-PET 5% con un 80% de RCD “todo en uno” y 5% con hojuelas de PET tuvieron el mejor comportamiento de acuerdo con la resistencia mínima requerida por la normativa mexicana. Esto se puede deber a las características obtenidas con la mezcla con una uniformidad y una cohesión mejor para los tabicones, respecto a las demás mezclas.

Los especímenes de la mezcla 10 (M10-PET 5%) presentaron unas características físicas adecuadas sin fisuras, homogéneos y piezas monolíticas como se observa en la figura 35.



Figura 35.- Tabicones de RCD y PET

#### 4.3.2 Determinación de la mezcla óptima

A partir de los resultados obtenidos, se determinó la mezcla óptima para la fabricación de los tabicones, la cual correspondió a la mezcla número 10, que presentó valores de resistencia a la compresión de 113 a 118 kg/cm<sup>2</sup>, una eficiente trabajabilidad de la mezcla durante la fabricación, una textura sólida y monolítica posterior al tiempo de secado, la dosificación empleada para esta mezcla se detalla en la tabla 22 los porcentajes son en peso.

Tabla 22.- Dosificación de la mezcla óptima para los tabicones en porcentaje peso

MEZCLA	RCD %	PET %	CEMENTO %	CAL %	AGUA L
M10-PET 5%	80	5	5	10	1.4

Se elaboraron las 5 repeticiones por espécimen de acuerdo con la mezcla ideal (figura 36), además de 5 repeticiones con la mezcla base RCD “todo en uno” sin adición de PET, como se observa en la tabla 23.

Tabla 23.- Dosificación del tabicón base en porcentajes peso

MEZCLA	RCD %	CEMENTO %	CAL %	AGUA L
M3-RCD	85	5	10	1.4



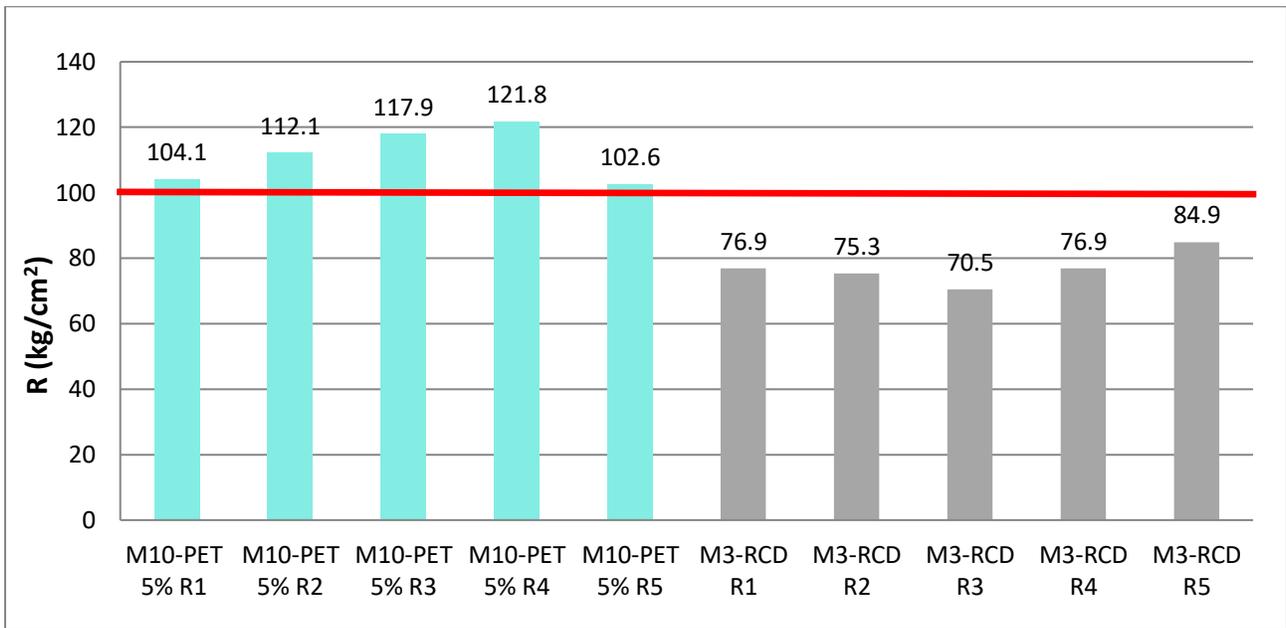
Figura 36.- Tabicónes de RCD y PET

#### 4.3.3 Prueba de resistencia

Los resultados de las pruebas de compresión de los tabicónes de la mezcla M10-PET 5%, se muestran en la tabla 24 y la figura 37. Los valores para los 5 tabicónes (la norma mexicana señala que se tienen que probar 5 especímenes de un lote), superan el valor que marca la norma que es  $100 \text{ kg/cm}^2$  con  $111.7 \text{ kg/cm}^2$  promedio y en el caso del tabicón solo de RCD  $76.9 \text{ kg/cm}^2$ . En la figura 38 se muestra la desviación estándar y el promedio de los tabicónes M10-PET 5%.

Tabla 24.- Resistencia de tabicónes de PET y RCD

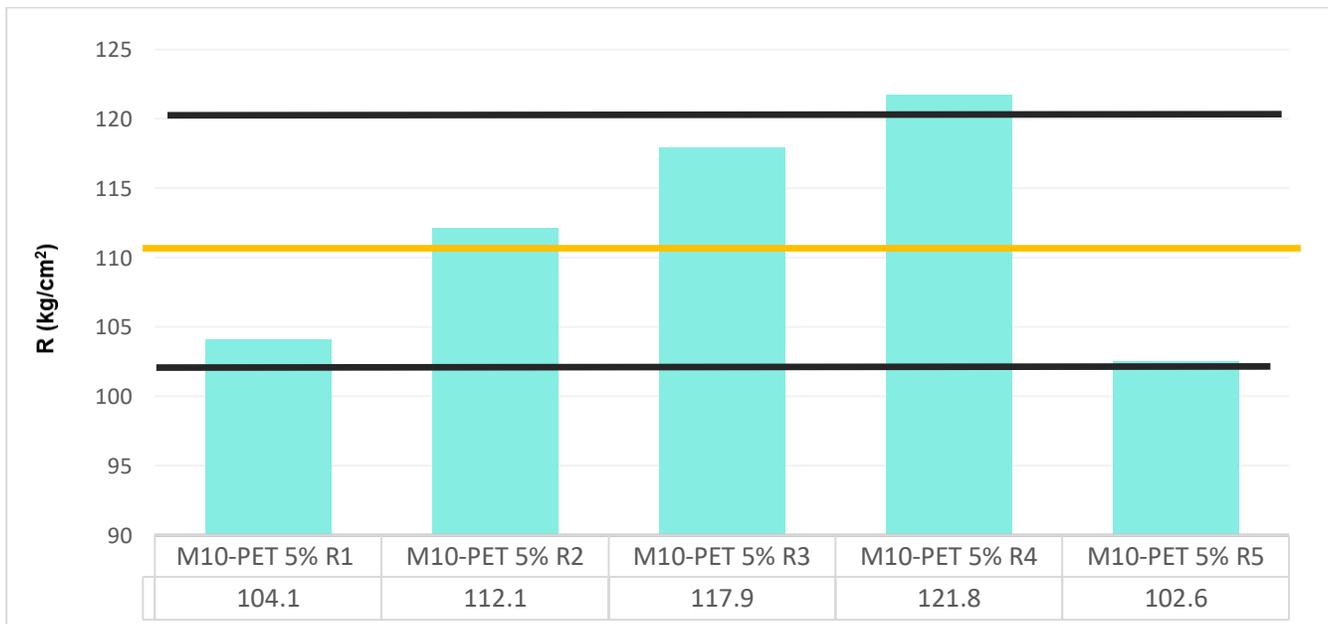
TABICÓN	F (kg)	A (cm <sup>2</sup> )	R (kgf/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
M10-PET 5% R1	32500	312.1	104.1	111.7	8.37
M10-PET 5% R2	35000	312.2	112.1		
M10-PET 5% R3	36800	312.1	117.9		
M10-PET 5% R4	38000	312.1	121.8		
M10-PET 5% R5	32000	312	102.6		
M3-RCD R1	24000	312	76.9	76.9	
M3-RCD R2	23500	312.1	75.3		
M3-RCD R3	22000	312.2	70.5		
M3-RCD R4	24000	312.1	76.9		
M3-RCD R5	26500	312	84.9		



— Resistencia a la compresión para tabicones estructurales 100 kg/cm<sup>2</sup> NMX-C-ONNCCE-404-2013

\*Las barras color gris son las repeticiones de la mezcla de solo RCD, las de color verde agua son las repeticiones de PET 5%

Figura 37.- Resistencia de los tabicones de PET y RCD



— Promedio de la resistencia 111.7 kgf/cm<sup>2</sup>

— Desviación estándar 8.37 (103.3-120) kgf/cm<sup>2</sup>

Figura 38.- Desviación estándar y promedio de los tabicones de RCD-PET 5%

#### 4.3.4 Prueba de absorción inicial

De acuerdo con las pruebas necesarias para verificar la calidad y el cumplimiento de la normativa NMX-C-404-ONNCCE-2013 se realizó la prueba de absorción a los tabicones elaborados con la mezcla 10 (M10-PET-5%) y con la mezcla 3 (M3-RCD), para dicha prueba es necesario tener los especímenes secos y estabilizados con ayuda de un secador electrónico a 100°C como se observa en la figura 39, (NMX-C-037-ONNCCE-2013), dicha prueba se puede observar en la figura 40.



Figura 39.- Secado de los tabicones para la prueba de absorción



Figura 40.- Prueba de absorción en tabicones

En la tabla 25 se muestran los resultados para los tabicones de RCD -PET 5% y los de RCD. Los valores que marca la norma es 5 g/min de absorción de agua.

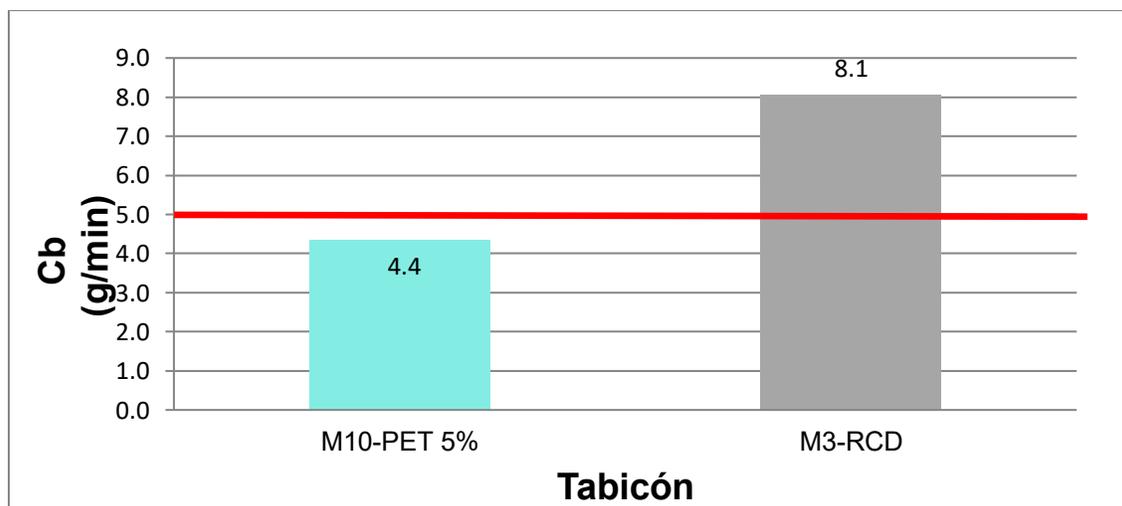
Tabla 25.- Absorción máxima inicial de agua en tabicones

Tabicón	Peso seco (g)	Peso húmedo (g)	Peso absorbido (g)	Superficie de la cara sumergida cm <sup>2</sup>	Cb
M10-PET 5% R1	2240	2290	50	312.1	5.06
M10-PET 5% R2	2280	2331	51	312.2	5.16
M10-PET 5% R3	2350	2390	40	312.1	4.05
M10-PET 5% R4	2340	2372	32	312.1	3.24
M10-PET 5% R5	2210	2252	42	312	4.25
M3-RCD R1	2462	2550	88	312	8.91
M3-RCD R2	2380	2465	85	312.1	8.61
M3-RCD R3	2420	2490	70	312.2	7.09
M3-RCD R4	2460	2532	72	312.1	7.29
M3-RCD R5	2395	2478	83	312	8.41

En la tabla 26 se observan las medias de absorción para los tabicones de RCD-PET y RCD, los valores obtenidos se muestran gráficamente en la figura 41.

Tabla 26.- Media de absorción

Tabicón	Cb (g/min)
M10-PET 5%	4.4
M3-RCD	8.1



— Absorción inicial 5 g/min marcado en la NMX-C-037-ONNCCE-2013

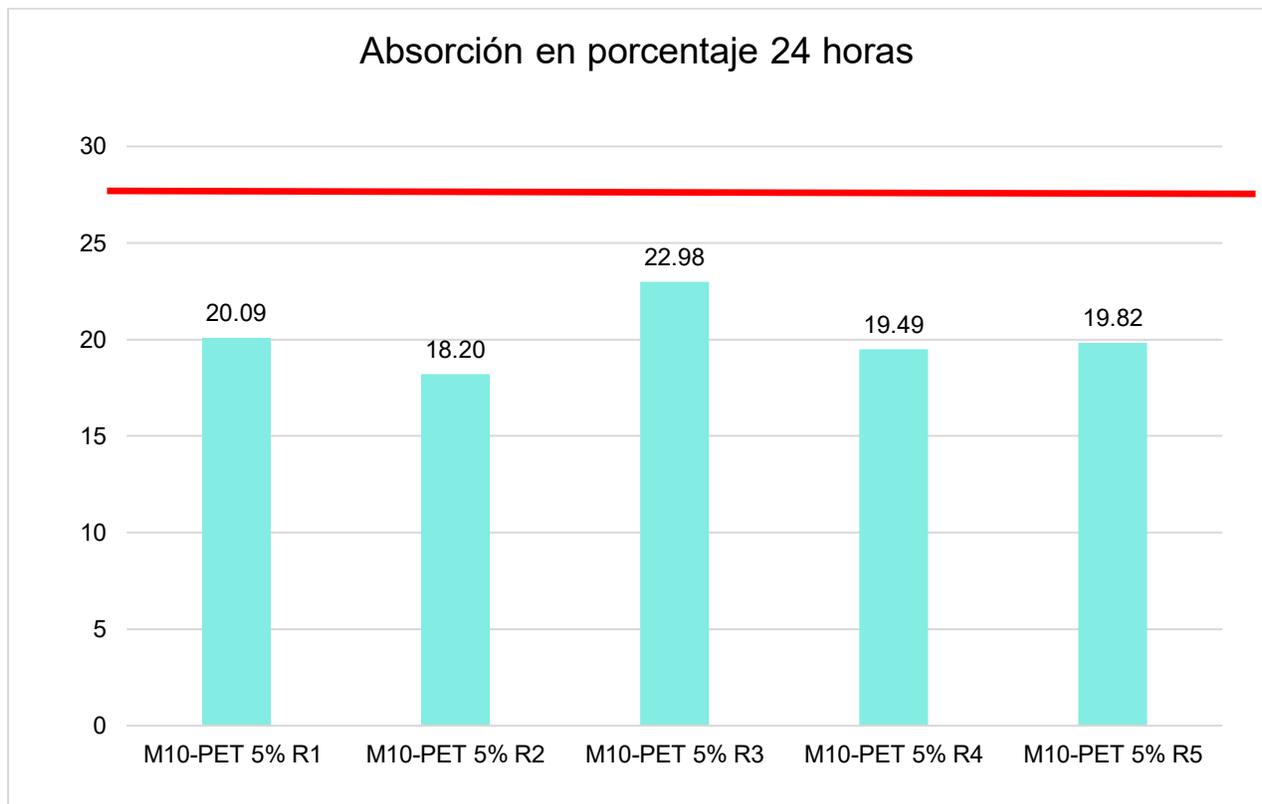
Figura 41.- Absorción máxima inicial para tabicones de RCD-PET 5% y RCD

### 4.3.5 Prueba de absorción a 24 horas

De acuerdo con las pruebas necesarias, se realizó la prueba de absorción a 24 horas a los tabicones elaborados con la mezcla 10 (M10-PET-5%) para dicha prueba es necesario tener los especímenes secos, se realiza el pesaje de los especímenes se toma lectura y se sumergen en agua por 24 horas, para su posterior pesaje y determinación de los resultados con la ecuación 3. En tabla 27 y la figura 42 se observan los resultados donde todos se encuentran sobre el valor de la norma, con lo cual se aceptan el porcentaje de absorción de los tabicones.

Tabla 27.- Porcentaje de absorción a 24 horas de los tabicones de RCD-PET

TABICÓN RCD-5% de PET	% EN 24 HORAS
M10-PET 5% R1	20.09
M10-PET 5% R2	18.20
M10-PET 5% R3	22.98
M10-PET 5% R4	19.49
M10-PET 5% R5	19.82



— absorción en porcentaje (%) a 24 horas. NMX-C-037-ONNCCE-2013 (27%)

Figura 42.- Absorción a 24 horas en porcentaje para tabicones de RCD-PET 5%

## 4.4 Etapa 5- Caracterización de los residuos

### 4.4.1 Caracterización de las escamas/hojuelas de PET

El Polietileno Tereftalato es un polímero plástico lineal. Es duro, resistente al desgaste, de forma dimensional es estable, resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas. Proporciona una gran resistencia a la degradación por impacto y resistencia a la tensión. El PET es un plástico de alta calidad que se identifica con el número uno, o las siglas PET, rodeado por tres flechas en el fondo de los envases fabricados con este material, según el sistema de identificación de la SPI (Sociedad de Industrias del Plástico).

### 4.4.2 Propiedades físicas

De acuerdo con Muñoz (2012), las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material ha alcanzado un desarrollo relevante en la producción de una gran diversidad de envases, de manera especial en la producción de botellas para refresco y agua. Entre las características más importantes que presenta se encuentran:

- Buen comportamiento frente a esfuerzos permanentes
- Alta resistencia al desgaste y corrosión
- Buen coeficiente de deslizamiento
- Buenas propiedades térmicas
- Es reciclable
- Ligero
- Resistente
- Buena resistencia a la fluencia
- Elevada dureza de la superficie
- Gran estabilidad dimensional
- Buen comportamiento como aislante eléctrico

La densidad es la cantidad de materia que tienen los materiales plásticos por unidad de volumen, como se observa en la tabla 28. Influye en el peso de los productos plásticos y en la productividad de un proceso. La densidad es un factor económico que vuelve favorable la aplicación de un plástico sobre otro. El transformador compra kilogramos de material y vende unidades terminadas (Muñoz, 2012). La densidad del PET amorfo es de  $1.33 \text{ g/cm}^3$  en tanto que la densidad de un cristal de PET es de  $1.45 \text{ g/cm}^3$ .

Tabla 28.- Densidad del PET

DENSIDAD	
Amorfo	$1.33/1.37 \text{ g/cm}^3$
Semi-cristalino	$1.45/1.51 \text{ g/cm}^3$
Densidad aparente	$0.85 \text{ g/cm}^3$

Fuente: Adaptado de Muñoz, 2012

### 4.4.3 Conductividad térmica

Conductividad térmica es la cantidad de calor que transmiten los materiales plásticos a través de ellos. Con esta propiedad se conoce si el material tiene un buen aislamiento térmico, siendo mejores los que presentan valores bajos. El PET presenta un valor de conductividad térmica de 0.24 W/m•K (medida en vatios por metro-Kelvin).

### 4.4.4 Absorción de agua

Absorción de agua es la cantidad de agua que los plásticos tienden a retener, reflejándose en un aumento de peso en la muestra, después de estar en contacto continuo con un ambiente húmedo. Es importante esta característica al fabricar las piezas, ya que, a valores altos de absorción, los plásticos varían en sus dimensiones, en la tabla 29 se pueden observar los valores.

Tabla 29.- Absorción de Agua

ABSORCIÓN DE AGUA	(%)
Absorción de agua ASTM	0.16
Absorción de agua 24 h	< 0.7
Absorción de agua al equilibrio	0.1

Fuente: Muñoz, 2012

### 4.4.5 Comportamiento frente a la temperatura

Los poliésteres no mantienen buenas propiedades cuando se les somete a temperaturas superiores a los 70 grados centígrados. Se han logrado mejoras modificando los equipos para permitir llenado en caliente. La temperatura máxima a la que el PET presenta resistencia es de 71 °C. El PET cristalizado (opaco) es una excepción ya que tiene buena resistencia a temperaturas de hasta 230 °C. Dentro de la industria del envasado con PET la temperatura de transición vítrea y la temperatura de servicio son propiedades de suma importancia. La temperatura de transición vítrea, Tg, es la temperatura en la que un material vítreo (vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos) deja de ser rígido y comienza a ablandarse. Es un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el estado rígido del material. Mientras que la temperatura de servicio es la temperatura máxima a la que se puede manipular un plástico sin que pierda alguna de sus propiedades. Debido a que el PET tiene una temperatura de transición vítrea baja, los productos fabricados con dicho material no pueden calentarse

para su esterilización y posterior reutilización, por lo que el PET reciclado sólo puede utilizarse en un bajo porcentaje en la fabricación de nuevos envases para alimentos y bebidas. La tabla 30 resume el comportamiento que presenta el PET frente a la temperatura.

Tabla 30.- Comportamiento del PET frente a la temperatura

Concepto	Valor	Unidad
Punto de fusión	250 / 260	°C
Punto de ablandamiento según la prueba Vicat B	170	°C
Calor específico	1.04 / 1.05	kJ/(kg*K)
Coefficiente de expansión lineal	< 6.10-5	°C-1
Temperatura de transición vítrea	80	°C
Expansión térmica	70	E-6/K
Temperatura de servicio	-40 / 100	°C

Fuente: Adaptado Muñoz, 2012

#### 4.4.6 Comportamiento frente a factores atmosféricos

Este polímero no es afectado por ácidos ni gases atmosféricos por lo que presenta buena estabilidad a la intemperie. Aun así, cuando los envases tienen una exposición prolongada al aire libre pierden su tonicidad, se fragmentan y dispersan, las botellas enterradas duran más.

#### 4.4.7 Propiedades Químicas

Debido a sus propiedades químicas el PET representa un material con propiedades de resistencia muy buenas para alcoholes y aceites esenciales, además de una alta resistencia a diversos agentes químicos. Tiene buena resistencia general, en especial a grasas y aceites presentes en alimentos, soluciones diluidas de ácidos minerales, álcalis, sales, jabones, hidrocarburos alifáticos y alcoholes. En contra parte, presenta poca resistencia a solventes halogenados, aromáticos, cetonas de bajo peso molecular y bases. El PET es resistente a multitud de agentes químicos agresivos los cuales no son soportados por otros materiales. En la tabla 31 se observa la resistencia a diversos químicos.

Tabla 31.- Resistencia del PET a diversos químicos

<b>ALCOHOLES</b>			
	<b>NO RESISTENTE</b>	<b>RESISTENTE</b>	<b>MUY RESISTENTE</b>
Metanol			√
Etanol			√
Isopropanol		√	
Glicol			√
Glicerina			√
Alcohol bencílico		√	
<b>ALDEHIDOS</b>			
Acetaldehído			√
Formaldehído			√
<b>HIDROCARBUROS</b>			
Benceno			√
Tolueno			√
Xileno			√
Hidrocarburos alifáticos			√
Gasolina			√
Aceite mineral			√
<b>DISOLVENTES</b>			
Éter			√
Acetona	√		
Nitrobenceno	√		
Fenol	√		
<b>SOLUCIONES SALINAS</b>			
Dicromato			√
Carbonatos alcalinos			√
Cianuros			√
Fluoruros			√
Bicarbonato		√	
<b>SUSTANCIAS VARIAS</b>			
Cloro			√
Agua			√
Peroxido de hidrógeno			√
Oxígeno			√
Acetato Etilico		√	

Fuente: (Adaptado de Muñoz, 2012)

#### 4.4.8 Residuos de la construcción y demolición

La granulometría por tamizado es un modo de medir los tamaños de partículas de una muestra de suelo haciéndolas pasar por mallas (o tamices) de distintas aperturas. La apertura se denomina luz del tamiz. El tamizado es la opción más tradicional y tiene la ventaja de su simplicidad mecánica y operativa. Los resultados de la granulometría para los residuos de construcción un cuarto de pulgada a finos todo en uno se observan en la tabla 32, se puede apreciar que el 89.99% del material analizado pasa la malla No. 4, mientras que solo el 6.77% pasa la malla No. 200. La clasificación SUCS nos indica que si más del 50% del material pasa la malla No. 4 y el porcentaje de finos se encuentra entre el 5% y 12%, podemos determinar que el residuo de construcción de un cuarto de pulgada a finos todo en uno analizado se considera arena con presencia de finos.

Tabla 32.- Granulometría de residuos de construcción

TIPO DE SUELO	Numero de malla	Abertura D (mm)	Peso retenido (g)	Porcentaje Retenido (g)	Porcentaje acumulado	% Pasa
GRAVAS	1/2"	12.5	0	0	0	100
	3/8"	9.52	4.52	0.41	0.41	99.59
	1/4"	6.3	41.93	3.79	4.2	95.8
	#4	4.75	75.33	6.81	11.01	88.99
ARENAS	#10	2	283.25	25.6	36.61	63.39
	#20	0.84	213.77	19.32	55.93	44.07
	#40	0.42	161.7	14.62	70.55	29.45
	#60	0.25	70.55	6.38	76.93	23.07
	#100	0.15	107.27	9.7	86.63	13.37
	#200	0.07	73.03	6.6	93.23	6.77
	Fondo	-	74.95	6.77	100	0
	Total		1106.3	100		

En la figura 43 se observa la curva granulométrica obtenida, a partir de esta se obtuvieron los tamaños de partícula  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  para calcular los coeficientes de uniformidad y curvatura,  $C_u$  y  $C_c$  respectivamente.

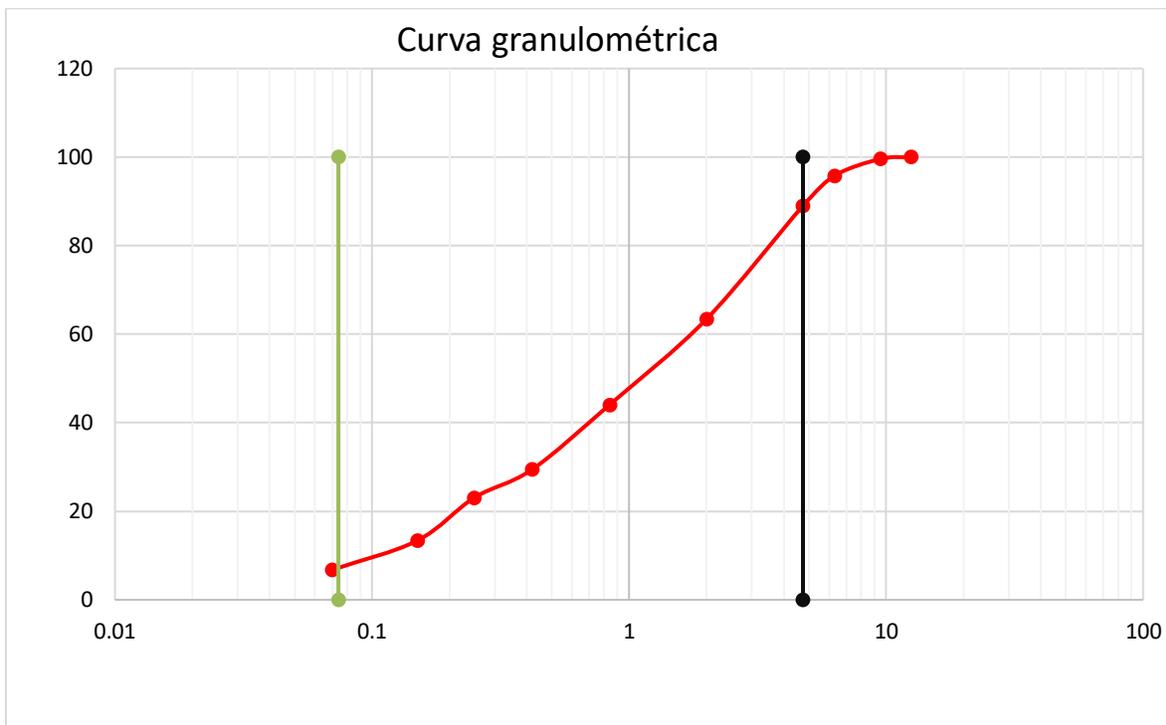


Figura 43.- Curva granulométrica de residuos de construcción un cuarto a finos

Se calculó el coeficiente de uniformidad, el cual se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo. Se expresa como la relación entre  $D_{60}$  y  $D_{10}$ . De acuerdo con la ecuación 7.

$D_{60}$  = el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 60% del suelo, en peso

$D_{10}$  = el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 10% del suelo, en peso.

Posterior se determinó el coeficiente de curvatura, el cual se define como un indicador del equilibrio relativo que existe entre los diferentes intervalos de tamaño de partículas del suelo, como se observa en la ecuación 8.

Ecuación 7.- Coeficiente de uniformidad

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 8.- Coeficiente de curvatura

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

$$C_c = 0.97$$

$$Cu = 15.82$$

Los residuos de construcción se pueden clasificar como arena con finos bien graduada. Tienen una graduación uniforme, es decir, los diferentes tamaños de partícula contenidos ocupan los espacios huecos al momento de compactar los especímenes por lo que quedan menos espacios vacíos.

#### 4.5 Etapa 6-Análisis Estadístico

Para realizar la comparación y determinar si existen diferencias significativas entre los tabicones fabricados con residuos de construcción con PET y a los que sólo se les agregó residuos de construcción como testigos, evaluándolos de acuerdo con la resistencia. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) encontrando los siguientes resultados que se observan en la tabla 33 y 34.

Tabla 33.- Resistencia de los tabicones a comparar

	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kgf/cm <sup>2</sup> ), TRATAMIENTOS/MEZCLAS (k)	
	RCD con PET 5%	RCD
1	104.1	76.9
2	112.1	75.3
3	117.9	70.5
4	121.8	76.9
5	102.6	84.9
media de k	111.7	76.9
$(\bar{Y}_k - \bar{Y})^2$	94.3	302.76
MS	302.76	
SS <sub>A</sub>	3,027.60	

Tabla 34.- Resultados del análisis de varianza

Fuente de variación	G.L.	SS	MS	F
Entre tratamientos	1	3,027.6	3027.6	62.31
Error	8	388.7	48.5875	
Total	9	3,416.3		

Como  $62.31 > 5.32$ , se rechaza la Hipótesis nula, pues existen diferencias entre tratamientos, es decir, existen diferencias significativas entre las mezclas.

#### 4.6 Etapa 7-Factibilidad técnica y comparativa ambiental

La evaluación de la calidad de los tabicones a partir de las normas mexicanas generó resultados satisfactorios ya que cumplieron los parámetros técnicos de la NMX-404-ONNCCE-2013.

Resalta de manera importante el uso de residuos de la construcción y demolición como sustitución de los agregados pétreos de los tabicones comunes con más del 80% del cuerpo, y la adición del PET, ya que este ayudó a elevar los parámetros como la resistencia ( $100 \text{ kg/cm}^2$ ) y la disminución de la absorción (5 g/min).

En la tabla 35 se enlistan los parámetros de la normativa de calidad que cumplieron los tabicones de RCD-PET 5% que fueron los más viables de esta investigación.

Tabla 35.- Evaluación de la factibilidad técnica

NORMATIVA APLICABLE	CONTENIDO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
MX-C-036-ONNCCE-2012	Determinación de la resistencia a la compresión de los tabicones	Método de prueba para la resistencia	Aprobado
NMX-037-ONNCCE-2013	Determinación de la absorción inicial de los tabicones	Método de prueba para la absorción inicial	Aprobado
NMX-038-ONNCCE-2013	Determinación de las dimensiones de los tabicones	Método de prueba para dimensiones	Aprobado
NMX-C-404-ONNCCE-2012 (uso estructural)	Resistencia mínima a la compresión	$100 \text{ kgf/cm}^2$	Aprobado
	Límite superior de absorción inicial	5 g/min	Aprobado
NMX-C-441-ONNCCE-2013 (uso no estructural)	Resistencia mínima a la compresión	$30 \text{ kgf/cm}^2$	Aprobado
	Límite superior de absorción inicial	5 g/min	Aprobado

De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo donde la mezcla denominada M10-PET 5% fue la que cumplió con todos los parámetros marcados por la normativa mexicana, la dosificación de la mezcla fue de 80% RCD, 5% PET, 5% cemento y 10% cal hidratada, de acuerdo a los resultados obtenidos los RCD si son una alternativa para sustituir el 100% de los agregados naturales además la adición del PET por sus propiedades físicas ayuda a elevar la resistencia a la compresión de los especímenes elaborados. El estadístico donde se comparan los especímenes de RCD al 85% vs RCD 80%

con PET 5% podemos observar diferencias significativas y una resistencia a la compresión mayor con la adición de las hojuelas del PET, en diversos estudios se demostró el funcionamiento del PET para elaborar tabicónes, block y ladrillos, de acuerdo con el trabajo realizado por Flores en el 2014 donde se prueba la elaboración de ladrillos y tejas a partir de residuos plásticos (PET), incorporando un aditivo para obtener mejores resistencias, obtuvieron que el espécimen elaborado obtuvo una resistencia de 4MPa (40.78 kgf/cm<sup>2</sup>), la adición de los residuos ayudó a disminuir el porcentaje de absorción, como se muestra en el presente trabajo.

Se puede determinar que la adición de cal mejora las características de la mezcla, evitando la disgregación de los componentes y la disminución del porcentaje de PET ayudó a mantener la estabilidad y la resistencia de los tabicónes elaborados, Pérez (2016) trabajo con tabicónes a partir de una mezcla de arena, cemento, cal y PET como agregado grueso de acuerdo con su trabajo la resistencia a la compresión media de sus especímenes fue de 99.83 kgf/cm<sup>2</sup>, comparado con la resistencia común en muchos laboratorios para el tabicón es de 110 a 115 kgf/cm<sup>2</sup>, el trabajo corrobora que la adición de cal aumenta la adherencia entre los materiales y el porcentaje de PET será fundamental para la resistencia final del tabicón, altas cantidades del residuo no permiten una mezcla homogénea y por lo tanto no es posible elaborar el tabicón con el cuerpo requerido, disgregando la mezcla.

De acuerdo con el análisis económico determinan que el precio del tabicón con PET tiene un costo similar al de materias primas naturales pero los beneficios se pueden observar a largo plazo en la disminución de estos residuos en los rellenos sanitarios y evitar la extracción de los agregados para la fabricación de los tabicónes.

Los especímenes obtenidos en la presente investigación alcanzaron resistencias aceptables para su uso estructural y no estructural, es importante mencionar que la cal juega un papel importante para que la mezcla se mantenga con uniformidad y el PET pueda mezclarse formando el cuerpo del tabicón. En todos los trabajos y bibliografía consultada se hace uso de agregados naturales para elaborar los tabicónes, block o ladrillos y el PET sustituye un porcentaje entre el 10 -25% de estos, en los tabicónes desarrollados se sustituyen los RCD en su totalidad y un porcentaje extra de PET que ayuda a la mezcla para una mejor resistencia. Se sustituyó el 80% de agregado por RCD demostrando que es factible y viable incorporar los en los elementos para la industria de la construcción.

Los tabicónes sustentables se pueden utilizar en la construcción de muros interiores divisorios y en muros exteriores, aunque las pruebas nos permiten hacer uso de ellos en muros de carga es necesario realizar más pruebas de laboratorio para determinar su factibilidad en muros.

La fabricación de este tipo de tabicónes tiene como propósito el reúso y reciclaje de diversos residuos, promoviendo el uso racional de recursos disponibles en lugar de enterrarlos, quemarlos o acumularlos en basureros al aire libre; aplicando procedimientos de elaboración que no son contaminantes del medio ambiente (Gaggino, 2008). El uso de materiales reciclados en la construcción reduce la contaminación del ambiente contrario a lo que ocurre cuando se usan materias primas naturales.

En la presente investigación el uso de residuos de la construcción y las hojuelas de PET produjeron una buena mezcla, con la que se busca se considere el uso de residuos para la sustitución de los agregados naturales de los tabicones comerciales, para evitar la sobreexplotación, agotamiento de los recursos y darle un nuevo uso a la gran cantidad de residuos que se genera. En la tabla 36 se muestra la comparación de los tabicones de agregados naturales y los tabicones de materiales reciclados.

De acuerdo con el INECC, el 35% de los profesionales de la construcción, opina que en cinco años podría ocurrir una disminución de la participación del ladrillo artesanal en el mercado, mientras que el 68% de los productores de tabicón y bloque de concreto considera que los bloques de concreto pueden reemplazar al ladrillo. La construcción de vivienda en serie opta por el uso de tabicones y bloques, o bien, de tabique extruido, en tanto que, para construcciones de más de tres niveles de altura, los productos extruidos son más utilizados. Entre las razones por las que el ladrillo se ha rezagado están la mayor contaminación asociada a los hornos utilizados durante su elaboración, la menor eficiencia en la construcción de cada metro cuadrado debido a las dimensiones más pequeñas de cada pieza y la calidad heterogénea. Por otra parte, los tabicones y bloques han comenzado a experimentar innovaciones que pretenden mejorar sus propiedades, e incluso existen empresas grandes que fabrican productos de calidad de exportación.

Tabla 36.- Comparativa ambientales de los tabicones sustentables

TABICÓN CONVENCIONAL	TABICÓN CON RCD-PET 5%
	
Agregados vírgenes que aumentan la explotación de los bancos de materiales.	Agregados reciclados de los RCD que se encuentran en grandes cantidades y con bajo reciclaje o reúso.
La extracción de las materias primas acelera los escenarios donde se agotan y su extracción es más difícil.	Reciclado de PET que es uno de los residuos que más se genera en el país.
Aumento en el costo si los agregados provienen de sitios más lejanos.	Evita la explotación de bancos naturales.
Contaminación visual al explotar cerros para obtener agregados.	Agregar a las cadenas de valor los RCD y PET evitando que paren en sitios clandestinos o rellenos.
Aumento de los gases de efecto invernadero.	Aumentar la vida de rellenos y sitios de disposición final.

Las propiedades físicas del PET permiten utilizarlo como alternativa para la solución de diferentes problemas presentes en la industria de la construcción. Diferentes trabajos demuestran que es factible el empleo del PET para esta industria, donde se aplica como mampostería, rellenos de gaviones, reemplazo parcial o total de taludes y como material de respaldo en estructuras de retención entre otros (Muñoz, 2012).

Los tabicones de residuos de construcción y PET ayudan a evitar la explotación de bancos de agregados naturales que representan problemas graves tanto ambientales como sociales entre los que destacan: (Ramírez, 2008)

- Recepción de escombros en los antiguos frentes de explotación.
- Frentes abandonados expuestos a procesos erosivos que generan inestabilidad.
- Contaminación atmosférica (polvo) por tráfico de maquinaria pesada.
- Generación excesiva de sedimentos que contaminan el agua e impiden su captación.
- Afectación al paisaje
- Ocupación de sitios donde se extrajo agregado terminan siendo rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto.
- Deficiente relación con la comunidad vecina.
- Generación de conflictos ambientales y sociales.
- Contaminación por ruido.

Cabe destacar la importancia de buscar nuevas alternativas para los productos y materiales que se ofertan para el sector construcción a partir de residuos de la construcción que se generan en grandes cantidades y que se aprovecha un porcentaje muy bajo o casi nulo, resulta viable la fabricación de los especímenes propuestos en el presente trabajo.

#### **4.7 Etapa 8-Factibilidad económica**

La preparación y evaluación de proyectos se ha transformado en un instrumento de uso prioritario entre los agentes económicos que participan en cualquiera de las etapas de asignación de recursos para implementar iniciativas de inversión en el presente trabajo se realizó una evaluación para fabricar bloques a nivel comercial en el estado de Puebla de acuerdo con la oferta y la demanda existente.

De acuerdo con el estudio realizado para determinar la factibilidad económica de fabricar bloques con residuos de construcción con PET a nivel comercial, con una producción estimada de 5000 piezas mensuales, se encontraron los siguientes resultados que se observan en la tabla 37, en donde se calcula un periodo de 5 años para recuperar la inversión de la bloquera. El costo de un bloque con residuos de la construcción sería de \$7.54 MXN con gastos de operación e inversión, el precio de venta comercial se estima en \$11.00 MXN como se observa en la tabla 38. Con la estimación realizada se podrían obtener ganancias con una venta de 5000 tabicones mensuales de \$17,296.00 MXN. Se calcula una inversión

inicial de \$304,050 con la adquisición de la moldeadora mecánica de bloques, adquisición del predio y un vehículo para la distribución de estos, podemos observar en la tabla 39 la inversión en donde se estimaron 6 rubros que fueron equipo de oficina, equipo de comunicación, maquinaria y equipos de la bloquera, herramientas, instalaciones y obra civil. Los egresos se observan en la tabla 40.

Para fabricar 1000 piezas de tabicón se necesitarían:

- 2.4 toneladas de RCD todo en uno
- 150 kg de hojuela de PET
- 150 kg de cemento
- 300 kg de cal

Para fabricar 1000 piezas de bloques se necesitarían:

- 6.4 toneladas de RCD todo en uno
- 400 kg de hojuela de PET
- 400 kg de cemento
- 800 kg de cal

Tabla 37.- Flujo de caja

FLUJO DE CAJA NETO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Ingresos		\$660,000	\$660,000	\$660,000	\$660,000	\$660,000
Egresos		\$391,631	\$391,631	\$391,631	\$391,631	\$391,631
Inversión	\$304,050					
Flujo de caja neto	-\$304,050	\$268,369	\$268,369	\$268,369	\$268,369	\$268,369

Tabla 38.- Resumen costos

Costo unitario materias primas (residuo y cementante)	\$4.00
Costo unitario real con operación	\$7.54
Precio de venta por unidad	\$11.00
Venta mensual estimada en piezas (unidades)	5,000 pza.
Venta mensual	\$55,000
Costo operativo mensual	\$32,636
Ingreso bruto mensual	\$22,364.05
Amortización mensual de la inversión	\$5067.50
Ganancia mensual	\$17,296.55
Inversión	\$304,050.00

Tabla 39.- Inversión

1	INVERSIÓN			
<b>1.1</b>	<b>Equipo de comunicación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
UD	Computadora	1	\$7,000	\$7,000
UD	Impresora	1	\$1,500	\$1,500
UD	Multicontacto	1	\$200	\$200
UD	Escritorio	1	\$850	\$850
UD	Silla	2	\$700	\$1,400
UD	Archivero	2	\$1,000	\$2,000
<b>1.2</b>	<b>Equipo de comunicación</b>			
UD	Línea telefónica + internet (instalación)	1	\$1,200	\$1,200
<b>1.3</b>	<b>Maquinaria y equipos</b>			
UD	Máquina bloquera tipo GOLMAQ modelo V4	1	\$30,000	\$30,000
UD	Mezcladora de concreto 1 saco	1	\$12,000	\$12,000
UD	Camioneta 3 1/2 toneladas	1	\$60,000	\$60,000
<b>1.4</b>	<b>Herramientas</b>			
UD	Pala	2	\$200	\$400
UD	Carretilla	2	\$500	\$1,000
UD	Caja de herramienta mecánico	1	\$1,500	\$1,500
<b>1.5</b>	<b>Instalaciones</b>			
UD	Predio 500 m <sup>2</sup>	1	\$110,000	\$110,000
<b>1.6</b>	<b>Obra civil</b>			
UD	Oficinas (16 m <sup>2</sup> ) y zona techada (50 m <sup>2</sup> )	1	\$55,000	\$55,000
UD	Cercado de terreno (107 m lineales)	1	\$20,000	\$20,000

Total	\$304,050
-------	-----------

Tabla 40.- Egresos Operativos

EGRESOS OPERATIVOS	
<b>2</b>	<b>GASTOS CORRIENTES</b>
<b>2.1</b>	<b>COSTO PERSONAL</b>
mes	ENCARGADO
mes	PERSONAL OPERATIVO
mes	PERSONAL OPERATIVO
<b>2.2</b>	<b>CONSUMO EN MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y MAQUINARIA</b>
mes	MANTENIMIENTO MÁQUINA BLOQUERA
mes	MANTENIMIENTO MEZCLADORA
mes	MANTENIMIENTO CAMIONETA 3 1/2 TONELADAS
mes	CONSUMO MENSUAL EQUIPO DE PROTECCIÓN
mes	CONSUMO DIÉSEL
<b>2.3</b>	<b>COMUNICACIONES</b>
mes	TELÉFONO FIJO DE OFICINA + INTERNET
<b>2.4</b>	<b>CONSUMO OFICINA Y BLOQUERA</b>
mes	PAPELERÍA
mes	CONSUMOS LUZ
mes	CONSUMO AGUA
<b>2.4</b>	<b>AGREGADOS</b>
mes	RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN TODO EN 1 (RCD) L.A.B.
mes	HOJUELAS DE PET
mes	CEMENTO
mes	CAL

De acuerdo con el estudio realizado el costo por pieza de un bloque con la sustitución de los agregados pétreos naturales por residuos es viable y competitivo con el mercado, de acuerdo con el INECC en el estudio Análisis de mercado del sector de la construcción del 2016 señala que la antigüedad de más del 80% de las empresas, dedicadas a la producción de tabicones y bloques, no rebasa los 30 años y una quinta parte tiene una antigüedad de 5 o menos años. A su vez, entre quienes comercializan, el 66% lo realiza en forma directa al consumidor y el 34% utiliza a otros comercializadores. En contraste, los ladrilleros artesanales no poseen el suficiente poder de negociación para influir en los precios pagados por los intermediarios y tampoco tienen acceso a un incremento de margen de utilidad por la comercialización directa, con esta premisa la venta de los bloques tiene un margen de ganancia más alto

para el productor que lo comercializa de forma directa. La combinación de actividades de fabricación y comercialización de tabicones y bloques de concreto en el mismo sitio permite el aprovechamiento del transporte de carga para abarcar mayores áreas de distribución del producto.

La principal problemática a la que se enfrentan el 51% de los productores de bloques y tabicones de concreto son el abastecimiento de materias primas, el mantenimiento de la maquinaria empleada en su producción, la calidad de los insumos y los costos de estos, de esta manera sustituyendo los agregados naturales por residuos de la construcción se ataca el principal problema que es el abastecimiento de materias primas.

Además de las ventajas ambientales presentadas en la fabricación de tabicones fabricados con residuos de construcción y PET, resalta la factibilidad económica que el uso de estos materiales puede aportar al sector de la construcción en México y siendo competitivo para el mercado.

## 5 CAPÍTULO CONCLUSIONES

1. La estimación de la generación de residuos de la construcción en el 2018 para México fue de 10,153,322.63 toneladas, a pesar de esa gran cantidad aun no son valorizados dichos residuos.
2. Los residuos de la construcción y la demolición resultan adecuados para la fabricación de tabicones.
3. En el presente trabajo los RCD sustituyeron a los agregados pétreos.
4. A partir de pruebas preliminares se determinó factible la sustitución de agregados naturales por RCD y PET en la fabricación de tabicones.
5. Los tabicones fabricados con RCD y PET, son una alternativa sustentable para el aprovechamiento de los residuos y estos especímenes cumplen con los parámetros de calidad requeridos por la norma mexicana.
6. Los residuos empleados se comportaron dentro de la mezcla de manera similar a los agregados naturales, ya que sus características resultaron favorables.
7. La mezcla de RCD más PET resultó ser la óptima con una resistencia promedio de 115 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo con la NMX-C-404-ONNCCE-2013 son ideales para uso estructural.
8. La cal resultó favorable en la mezcla de RCD con PET porque aumenta la cohesión de la mezcla y la homogeneidad de la mezcla.
9. El tabicón de RCD y PET resultó ideal para sustituir los bloques de materia prima virgen.
10. La elaboración de tabicones a partir de residuos de construcción y demolición compiten con los precios actuales del mercado de los tabicones, dando una opción viable para los residuos.

## 6 CAPÍTULO RECOMENDACIONES

- De acuerdo con los resultados de la presente investigación se recomienda realizar más pruebas al tabicón sustentable para determinar otros parámetros que arrojen resultados sobre su uso del tipo estructural.
- Se recomienda evaluar el uso de aditivos para determinar la viabilidad de fluidificantes que ayuden a alcanzar resistencias más altas.
- El proceso de curado y fraguado es muy importante para que los tabicones alcancen resultados óptimos se recomienda poner énfasis en dicha etapa manteniendo la humedad correcta los primeros 5 días.
- El PET aumento la resistencia y aligeró los tabicones, proponiendo que se realicen otras pruebas para determinar su comportamiento.
- El estudio de factibilidad económica dio como resultado el costo de producción de un bloque en \$7.54 y tabicón en \$3.77 se recomienda un análisis más profundo para determinar su rentabilidad real que incluya iva, pagos a la seguridad social e intereses de los préstamos adquiridos.
- Evaluar la factibilidad de integrar los residuos de la construcción y demolición en otros procesos y productos para la industria de la construcción emitiendo nuevas normativas que hagan necesario el uso de residuos de la construcción y demolición en las nuevas obras.

## 7 CAPÍTULO REFERENCIAS

- o Acurio, G., A. Rossin, P.F. Texeira y F. Zepeda. (2016). Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. BID, Organización Panamericana. Washington, D.C. 1997. Citado en SEMARNAT (2016) Recuperado el 5 de noviembre del 2018 en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/4768/Diagn%C3%B3stico%20de%20la%20situaci%C3%B3n%20del%20manejo%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina%20y%20el%20Caribe.pdf?sequence=1>
- o Andrade, R. (2018). La industria de la construcción. El economista. Recuperado el 13 de mayo de 2020 en <https://www.economista.com.mx/opinion/La-industria-de-la-construccion-20180130-0110.html>
- o Aquino, E. (2015). Tesis de Maestría. Reciclaje de residuos de construcción para la fabricación de ladrillos sustentables. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- o Basanta R., García D. M.A, Cervantes M. J.E., Mata V.H. y Bustos V.G. (2007). Sostenibilidad de reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera. Ciencia y Tecnología Alimentaria 5(4): 293-305.
- o BBC, (2019). "Crisis mundial de la basura": 3 cifras impactantes sobre el rol de Estados Unidos. 10 de agosto de 2020, de BBC Sitio web: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48914734>
- o Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, (2017). Situación Actual de la Industria de la Construcción y sus perspectivas. México. Recuperado el 5 de septiembre de 2018 de [http://www.cmic.org.mx/cmhc/ceesco/2017/Las%20Tendencias%20Regionales%20del%20Mercado%20de%20la%20Construcci%C3%B3n%20y%20Futuros%20Planes%20de%20Desarrollo\\_25\\_04\\_2017.pdf](http://www.cmic.org.mx/cmhc/ceesco/2017/Las%20Tendencias%20Regionales%20del%20Mercado%20de%20la%20Construcci%C3%B3n%20y%20Futuros%20Planes%20de%20Desarrollo_25_04_2017.pdf)
- o Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (2014). Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición. México. Recuperado el 26 de agosto <http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM-RCD.htm>
- o Carmona, R. S. (1992). "PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES: TABIQUE SÓLIDO Y BLOQUE HUECO", Reporte de Investigación, Instituto de Investigaciones para la Ingeniería A. C. Guadalajara, Jalisco. México.
- o Casallas, (2014). Tesis licenciatura. "MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE LAVADO DE LA HOJUELA DE PET EN UNA PLANTA DE RECICLAJE". Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Recuperada el 24 de mayo de 2020 en <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5516>
- o Castro et al, (2009). Tesis maestría. "Manual de fabricación de tabicón solido de concreto" Instituto Politécnico Nacional. Ciudad de México, México. Recuperado el 08 de mayo de 2019 en <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/5789/l2.1149.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- o Ceñal et al, (2015) Tesis de Licenciatura. "Problemática de los residuos de la construcción y la demolición". Universidad Nacional Autónoma de México.
- o Chemische F. B. KG, (2009) Budenheim. Mainz, Recuperado en <https://www.budenheim.com/es/soluciones/plastico/poliolefinas-pe-y-pp/>

- DOF, (2004). Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C. Recuperado el 27 de septiembre del 2018 en <http://www.blockmex.com.mx/skin/images/empresa/ONNCCE/NMX-C-036-ONNCCE-2004.pdf>
- DOF, (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. México. 2003 (8 de octubre).
- Ficha Técnica, (2010). Neumáticos fuera de uso (NFU). España. Recuperada el 27 de abril del 2019 en <http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/8496201A-DDA1-43E1-BE04-D31F308A12E3/119956/NEUMATICOSFUERADEUSO1.pdf>
- Flores, (2015). Normas NMX para estructuras de mampostería. Declaratoria de vigencia publicada en el diario oficial de la federación el día 13 de diciembre de 2012. Recuperado el 6 de Abril del 2019 en <http://www.smie.org.mx/layout/eventos/2015/ponencia-mexico-cambio-para-siempre-desde-1985-norma-mexicana-nmx-c-404-onncce-2012-piezas-uso-estructural-leonardo-flores.pdf>
- Gaggino, R. (2008). Ladrillos y placas prefabricadas con plásticos reciclados aptos para la autoconstrucción. Revista INVI, 23(63).
- Gongora, (2014). El reciclaje en México. Comercio Exterior, vol. 64, núm. 3, mayo y junio de 2014. México, Recuperado el 10 de septiembre en [http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/757/2/reciclaje\\_mexico.pdf](http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/757/2/reciclaje_mexico.pdf)
- Guerrero, (2016). Analiza Ciatec mercado de la industria ladrillera artesanal. Recuperado el 25 de septiembre del 2018 en <http://conacytprensa.mx/index.php/centros-conacyt/8729-analiza-ciatec-mercado-de-la-industria-ladrillera-artesanal>
- INECC (2012). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Recuperado el 20 de septiembre del 2018 en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187440/diagnostico\\_basico\\_extenso\\_2012.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187440/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf)
- INECC. (2015). Informe 2 “Resultados de las encuestas, entrevistas y grupos de enfoque”. ANÁLISIS DE MERCADO DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y PROYECTO PILOTO A NIVEL REGIÓN BASADO EN UN PORTAFOLIO DE POLÍTICAS PÚBLICAS CON EL OBJETIVO DE REDUCIR LOS CCVC DE LADRILLERAS ARTESANALES EN MÉXICO. Recuperado el 11 de noviembre del 2018 en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/191443/2015\\_An\\_lisis\\_de\\_Mercado\\_Espa\\_ol.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/191443/2015_An_lisis_de_Mercado_Espa_ol.pdf)
- INECC, (2016). Análisis de Mercado del Sector de la Construcción y Proyecto Piloto a Nivel Región, Basado en un Portafolio de Políticas Públicas, con el Objetivo de Reducir los Contaminantes Climáticos de Vida Corta (CCVC) de Ladrilleras Artesanales en México. Recuperado el 10 de Octubre de 2018 en [https://www.gob.mx/inecc/documentos/2015\\_cgcv\\_analisis-de-mercado-del-sector-de-la-construccion-y-proyecto-piloto-a-nivel-region-basado-en-un-portafolio-de-politicas-publicas-con-el-objetivo-de-reducir-los-ccvc-de-ladrilleras-artesanales-en-mexico?state=published](https://www.gob.mx/inecc/documentos/2015_cgcv_analisis-de-mercado-del-sector-de-la-construccion-y-proyecto-piloto-a-nivel-region-basado-en-un-portafolio-de-politicas-publicas-con-el-objetivo-de-reducir-los-ccvc-de-ladrilleras-artesanales-en-mexico?state=published)
- INEGI, (2014). Perfil de la fabricación de productos de plástico. Recuperado el 4 de noviembre del 2018 en

[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825092894.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092894.pdf)

- INEGI, (2015) POBLACIÓN. Recuperado el 7 de septiembre en <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/estructura/>
- INEGI, (2016). Estadísticas a propósito de la Industria hulera. Recuperado el 4 de noviembre de 2018 en [http://www.cnih.org.mx/hule\\_8ago2016\\_camara.pdf](http://www.cnih.org.mx/hule_8ago2016_camara.pdf)
- Kaza Silpa, Yao Lisa C., Bhada-Tata Perinaz, Van Woerden Frank. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development; Washington, <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
- LGPGIR, DOF (2018). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 19 de enero de 2018.
- López, J. (2018). Tesis maestría. “análisis de las propiedades fisicoquímicas y mineralógicas de los materiales empleados en la elaboración de recobloques”. Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Martínez and M. Cote, (2014). “Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET,” ING E CUC, vol. 10, no. 2, pp. 76–80.
- Morillon, (2011). EDIFICACIÓN SUSTENTABLE EN MÉXICO: RETOS Y OPORTUNIDADES Recuperado el 05 de noviembre del 2018 en [http://www.ai.org.mx/ai/archivos/ingresos/morillon/trabajo\\_final.pdf](http://www.ai.org.mx/ai/archivos/ingresos/morillon/trabajo_final.pdf)
- Muñoz, 2012. Tesis licenciatura. “Estudio del uso del polietileno tereftalato (pet) como material de restitución en suelos de baja capacidad de carga”. UNAM. Recuperada el 10 de noviembre en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2514/1/TESIS.pdf>
- NADF-007-RNAT-2013. Norma Ambiental para el Distrito Federal. Clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición en el Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente.
- N·CMT·2·01·002/02, (2002). CMT Características de los materiales, parte 2. Materiales para estructuras, 01. Materiales para mampostería, 002. Bloques de cemento, tabiques y tabicones. Gaceta Oficial. 2002
- NMX-C-036-ONNCCE-2012. Norma Mexicana - Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines- Resistencia a la compresión – Método de prueba
- NMX-C-037-ONNCCE-2013. 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.
- NMX-C-038-ONNCCE-2013. Norma Mexicana - Industria de la construcción - Mampostería – Determinación de las dimensiones de ladrillos, tabiques, bloques y tabicones para la construcción.
- NMX-C-441-ONNCCE-2013. Norma Mexicana - Industria de la construcción – Bloques, tabiques o ladrillos y tabicones para uso no estructural –Especificaciones.
- NMX-C-404-ONNCCE-2012. Norma Mexicana - Industria de la construcción para bloques, tabiques o ladrillos para uso estructural- Especificaciones.
- Ortiz Quiroga, C. H., Volpi León, V., Camacho Mendoza, R. L., Olguín Coca, F. J., & Seck Tuoh Mora, J. C. (2018). Diseño de tabicón hueco usando mezcla polimérica como sustituto de agregados

- pétreos para construcción en muros divisorios. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 5(10). <https://doi.org/10.29057/icbi.v5i10.2934>
- o Paot, (2010). Estudio de zonas impactadas por tiraderos clandestinos de residuos de la construcción en el Distrito Federal. Cuauhtémoc, México. Recuperado el 20 de agosto de 2020 en <http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/EOT-02-2010.pdf>
  - o Pérez Calderón, J. (2010). La política ambiental en México: Gestión e instrumentos económicos. *El Cotidiano*, (162), 91-97. Recuperado el 9 de septiembre de 2018 de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32513882011>
  - o Pérez R, (2016). Tesis de Licenciatura: Estudio de las características mecánicas de un tabicón elaborado con una mezcla de arena, cemento y tereftalato de polietileno (PET), como agregado grueso. Facultad de Ingeniería, UNAM.
  - o Presidencia de la República. Tercer informe de Gobierno 2014-2015. Anexo Estadístico. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. México.
  - o Ramírez, (2008). Tesis maestría. “SOSTENIBILIDAD DE LA EXPLOTACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN EL VALLE DE ABURRÁ”. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. Recuperado el 3 de junio de 2020 en <https://core.ac.uk/download/pdf/11051386.pdf>
  - o RANKIN MUNDIAL DE LATINOAMÉRICA, (2012) Recuperado el 25 de septiembre del 2018 en <http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/sectoresproductivos/El%20sector%20construcci%C3%B3n%20en%20los%20pa%C3%ADses%20de%20Latinoamerica%202015.pdf>
  - o Rodríguez, (2017). Factibilidad de uso del PET reciclado en elementos de cubiertas y envoltentes. *Ingeniería 27 (2): 40-55*, ISSN: 2215-2652. San José Costa rica. Recuperado el 10 de noviembre del 2019 en <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/27076>
  - o Rojas, M., Aquino, E. (2016). Guía para la fabricación de ladrillos ecológicos. Instituto de Ingeniería, UNAM.
  - o Santillán, (2018). Una vida de plástico. Recuperado el 3 de noviembre del 2018 en <http://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>
  - o SENA, (1990) Manual para la fabricación de bloques y adoquines. Antioquia-Choco. Recuperado el 15 de mayo de 2020 en [https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/5008/1/manual\\_fabricacion\\_bloques\\_adoquines.PDF](https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/5008/1/manual_fabricacion_bloques_adoquines.PDF)
  - o SEMARNAT, (2006). Dirección General de Estadística e Información Ambiental, 2006, con base en: Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Cuarto Informe de Ejecución del Plan Nacional de Desarrollo, Presidencia de la República. Recuperado el 18 de septiembre del 2018 en: [http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet1bdcb.html](http://aplicaciones.semarnat.gob.mx/estadisticas/compendio2010/10.100.13.5_8080/ibi_apps/WFServlet1bdcb.html)
  - o SEMARNAT, (2012). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Recuperado el 5 de septiembre de 2018, de [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_12/07\\_residuos/cap7\\_1.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/07_residuos/cap7_1.html)
  - o SEMARNAT, (2012). Informe de Residuos capítulo 7. Recuperado el 24 de agosto del 2018 en [http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_resumen14/07\\_residuos/7\\_1\\_1.html](http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_resumen14/07_residuos/7_1_1.html)

- o SEMARNAT, (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Recuperado el 8 de septiembre de 2018 de <http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe15/tema/cap7.html#tema2>
- o SEMARNAT, (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. <https://www.gob.mx/>. Recuperado el 15 de junio en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- o SERPRO, (2012). Diagnostico Nacional del Sector Ladrillero. Recuperado el 15 de septiembre del 2018 en <http://www.redladrilleras.net/assets/files/692ecaa0a857372af35a529441387778.pdf>
- o Serrano Y, (2014). La importancia de los materiales constructivos en la certificación LEED. 23 de agosto de 2020, de Certificados Energéticos Sitio web: <https://www.certificadosenergeticos.com/importancia-materiales-constructivos-certificacion-leed>
- o TESTA MARKETING, (2017). Industria Llantera Mexicana. Recuperado el 2 de noviembre del 2018 en <http://testamarketing.com/2017/04/19/industria-llantera-mexicana/>
- o Vallejo, (2014). Las Diversas Certificaciones Aplicables a los Edificios Sustentables en México. Recuperado el 02 de Noviembre del 2018 en [http://quazar.acatlan.unam.mx/multidisciplina/file\\_download/194/multi-2014-05-02.pdf](http://quazar.acatlan.unam.mx/multidisciplina/file_download/194/multi-2014-05-02.pdf)